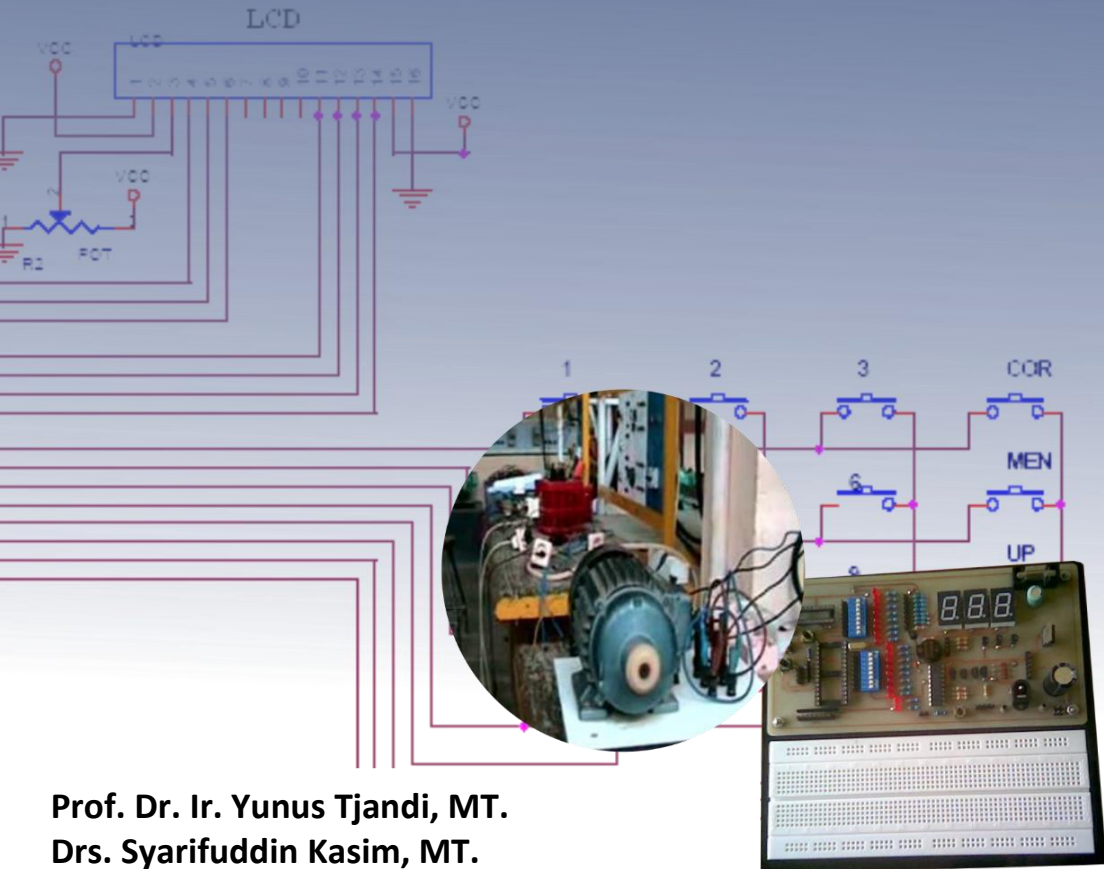




SISTEM PENGAMANAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER



Prof. Dr. Ir. Yunus Tjandi, MT.
Drs. Syarifuddin Kasim, MT.
Dr. A. Muhammad Idkhan, ST., MT.

KETENTUAN PIDANA

- (1) Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah)

SISTEM PENGAMANAN MOTOR INDUKSI BERBASIS MIKROKONTROLER

**Prof. Dr. Ir. Yunus Tjandi, M.T.
Drs. Syarifuddin Kasim, M.T.
Dr. A. Muhammad Idkhan, ST., M.T.**

2019

Judul : Sistem Pengamanann Motor Induksi berbasis Mikrokontroler
Penulis : Prof. Dr. Ir. Yusuf Tjandi, MT.
Drs. Syarifuddin Kasim, MT.
Dr. A. Muhammad Idkhan, ST., MT.

ISBN 978-602-51961-0-2

Penyunting : Prof. Dr. Hamzah Upu, M.Ed.
Perancang Sampul : Arfah
Penata Letak : Riswan Arizona Budhi
Isi : Sepenuhnya tanggung jawab penulis

Anggota IKAPI : No. 020/SSL/2018
Diterbitkan Oleh:



Global Research and Consulting Institute (Global-RCI)

Kompleks Perumahan BTN Saumata Indah blok B/12 Lt.3
Jl. Mustofa Dg. Bunga, Romang polong, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. 92113.
Email:globalresearchmakassar@gmail.com, Telp. 081355428007/082264031639

Cetakan Pertama, Juli 2019
Cetakan Kedua, November 2019 (Edisi Revisi)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Hak Cipta ©2019 pada penulis.
Hak penerbitan pada Global RCI. Bagi mereka yang ingin memperbanyak sebagian isi buku ini dalam bentuk atau cara apapun harus mendapat izin tertulis dari penulis dan Penerbit Global RCI.

All Rights Reserved

Yunus Tjandi, Syarifuddin Kasim dan Andi Muhammad Idkhan
Sistem Pengamanan Motor Induksi Berbasis Mikrokontroler/ Yunus dkk: – cetakan II – Makassar: Global-RCI, 2019
viii + 137 hal.; 14,8 x 21 cm

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat yang telah dilimpahkan, sehingga buku **“Sistem Pengamanan Motor Induksi Berbasis Mikrokontroler”** ini terwujud. Dalam buku ini disajikan materi tentang : Pandangan umum tentang sistem pengamanan, rangkaian pengganti motor induksi 3 fasa dan berbagai karakteristiknya, bentuk-bentuk pengujian pada motor induksi 3 fasa dan analisis gangguan pada motor induksi, penyebab timbulnya gangguan tegangan tidak seimbang pada sistem kelistrikan, fuzzifikasi dan penggunaan mikrokontroler, rancangan sistem reset sistem pengamanan motor dengan mikrokontroler, rancangan dan uji coba sistem pengamanan dengan menggunakan mikrokontroler. Penulis berpendapat bahwa dalam memacu minat mahasiswa untuk mempelajari Sistem Pengamanan Motor Induksi pada sistem kelistrikan, maka buku ini dapat disajikan sebagai pemenuhan ke arah tersebut, sekaligus dapat mengatasi kekurangan buku referensi sistem pengamanan untuk motor-motor induksi dalam bidang Sistem Tenaga Listrik.

Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga dapat menyelesaikan buku ini. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak pimpinan Goba Research and Consulting Institute (Global-RCI) yang telah bersedia menerbitkan buku ini.

Penulis menyadari bahwa hal-hal yang dicapai dalam buku ini masih terdapat kekurangan sehingga diharapkan saran dan kritik dari pembaca.

Makassar, November 2019

Penulis,

DAFTAR ISI

Halaman Judul	iii
Prakata	v
Daftar Isi	vii
BAB I Pendahuluan	1
BAB II Motor Induksi Tiga-Phasa	7
BAB III Uji Rotor Terkunci Dan Analisis Gangguan	21
BAB IV Penyebab Timbulnya Tegangan Tak Seimbang	37
BAB V Fuzzifikasi Dan Mikrokontroler Avr At Mega 32	51
BAB VI Rancangan Riset Sistem Pengamanan Motor Dengan Mikrokontroler	63
BAB VII Rancangan Dan Uji Coba Sistem Pengamanan	69
BAB VIII Implementasi Sistem Pengamanan Motor Dengan Mikrokontroler	85

BAB IX Pengukuran Simulasi Program terhadap Parameter Akibat dengan Penyebab	95
BAB X Listing Program Perangkat Lunak Sistem Pengamanan Motor Induksi Berbasis Logika Samar	107
Daftar Pustaka	131
Riwayat Hidup	137

BAB I

PENDAHULUAN

Sebuah motor induksi dapat dipahami dengan sederhana melalui analogi sebuah transformator dimana diantara kedua rangkaian jaringan magnetiknya dipisahkan oleh suatu gap atau celah udara. Jaringan magnetik yang dimaksud adalah sebuah inti diam berupa belitan pertama dari kawat penghantar yang mendapat tegangan bolak-balik dari penyedia sumber daya atau tenaga listrik. Diseberang belitan pertama itu setelah celah udara dipasangkan dengan belitan inti kedua yang berfungsi sebagai rotor berupa elemen yang bergerak karena induksi tegangan atau arus akibat peristiwa kopel magnetik secara alami.

Pengujian motor induksi 3-fasa pada skala laboratorium berupa fasilitas perangkat keras dan perangkat lunak dengan MATLAB untuk keperluan kependidikan disajikan dengan baik dalam sebuah artikel oleh Ayasun, S., dan Nwankpa, C.O. (2005). Usaha deteksi, uji dan diagnosis kegagalan operasi dan pengukuran besaran yang mempengaruhi kinerja motor induksi 3-fasa dapat diikuti dalam artikel-artikel Faiz, J., dkk. (2006, 2004). Gosbell, V.J., dkk. (2002) meluncurkan catatan teknis ketidakseimbangan pasokan tegangan 3-fasa dari pusat kajian kualitas tenaga listrik Univ. Wollongong Australia.

Suatu metoda menghitung efisiensi dengan akurasi dan murah untuk sebuah motor yang diperuntukkan bagi kelola tenaga listrik, dilaporkan oleh Ibiary, Y.(2003). Sementara itu Kasim, dkk.(2009) dalam PPI-KIM'2009 melaporkan hasil penelitian kegiatan rancang bangun sebuah generator memanfaatkan magnetik permanen yang menghasilkan GMP (Generator Magnetik Permanen) berspesifikasi 3-fasa, 1kW, 48 V, 18 kutub, 300 rpm untuk menunjukkan kemandirian dan kemampuan lokal.

Komparasi factor ketidakseimbangan tegangan antar fasa dibahas oleh Kim, J. G., dkk. (2005). Sementara pengetahuan dasar mesin-mesin listrik termasuk motor induksi 3-fasa dapat dipelajari banyak dari buku Kothari, dan Nagrath, I. J.(2004). Lazzarini, M. V., and Filho, E. R.(2007) melaporkan teknik pengukuran dan pengendalian beban torsi sebuah motor tanpa menggunakan sensor. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan supply terhadap kinerja motor induksi 3-fasa dibahas oleh Lee, C. Y.(1999). Dan Mamat, .M. M., dkk.(2006) mengulas pemantau kondisi dan deteksi kegagalan operasi motor 3-fasa menggunakan pembalik sumber tegangan VSI (*Voltage Source Inverter*) memanfaatkan algoritma logika samar dalam sebuah artikel yang dilaporkan melalui *American Journal of Applied Sciences*.

Jenis Motor-motor induksi 3-fasa umum digunakan dalam industri berhubung memiliki rancangan sederhana, layak operasi, konstruksi kompak, operasi mudah, pemeliharaan sederhana, dan murah modal awal dibandingkan dengan jenis yang lain (Pillay, dkk.(2002)). Rijanto, E., and Santoso, A.(2009) dengan artikel rancangan sistem kendali untuk generator pembangkit listrik tenaga bayu (angin) dan Sardjono, H.(2008) dengan artikel konverter tegangan listrik termis untuk standar Nasional masing-masing akan dan telah diterbitkan pada *Jurnal Instrumenasi*.

Selanjutnya terapan modeling untuk pengembangan motor-motor induksi 3-fasa dapat dijumpai pada artikel Soe, N. N., dkk..(2008), serta pada Suorsa, I.(2005). Untuk memudahkan pemantauan gangguan penyebab gejala operasi abnormal dan meningkatkan kemampuan tindakan preventive, dan pengaman motor induksi 3-fasa yang berperan besar pada industri, Tjandi, Yunus., dan Harun, N.(2008) mengembangkan methoda baru menggunakan logika samar sedemikian sehingga sistem relay konvensional berubah fungsi menjadi relay cerdas.

Umumnya sistem pengaman yang diterapkan pada motor listrik hanya ditujukan pada pengaman terhadap beban lebih dan pengaman terhadap hubung singkat, sementara salah satu kondisi operasi tidak normal yang banyak terjadi, bahkan boleh dikatakan terus-menerus berlangsung adalah operasi motor induksi pada kondisi tegangan suplai tidak seimbang (*unbalance voltage*).

Efek yang ditimbulkan oleh kondisi tegangan suplai yang tidak seimbang, bergantung pada tingkat ketidakseimbangan tegangan (*voltage unbalance rate*). Selanjutnya, akibat ketidakseimbangan tegangan suplai maka pembebanan motor tidak dapat dilakukan pada beban nominal, sesuai *name plate*.

Kondisi ketidakseimbangan tegangan yang paling ekstrim, terjadi pada waktu satu fasa dari tegangan suplai tiga fasa hilang (*one phase lose*), yang biasa disebut kondisi operasi satu fasa (*single phasing operation*). Kondisi ini akan menimbulkan kerusakan yang lebih serius pada sistem, jika dibiarkan berlangsung cukup lama.

Mengingat efek yang ditimbulkan oleh kondisi tegangan sumber energi listrik dan beban yang tidak seimbang serta kondisi temperatur yang tidak stabil, maka perlu dipertimbangkan untuk melengkapi motor induksi dengan suatu sistem pengaman yang dapat mendeteksi multi gangguan tersebut.

Oleh karena ketidakseimbangan tegangan pada sistem tenaga listrik selalu berubah setiap saat mengikuti perubahan beban yang terjadi pada jaring, maka sangat sukar memprediksi tingkat ketidak seimbangan tegangan yang membahayakan beban sistem. Oleh karena adanya ketidak-linieran proses dan ketidak pastian model sering sulit dijelaskan secara matematis, akan tetapi hanya dapat dijelaskan secara heuristic. Jika algoritma pengaman konvensional hanya dapat menggunakan data numerik yang diperoleh melalui sensor, informasi ketidak-pastian proses sering diberikan secara linguistic yang diperoleh dari pakar (manusia). Hal ini berarti bahwa pendekatan konvensional hanya mampu memanfaatkan informasi numerik saja, tanpa mampu memanfaatkan informasi lingistik. Untuk dapat memanfaatkan informasi linguistic ini diperlukan suatu kerangka kerja yang sesuai, yaitu *logika samar* dan *himpunan samar* yang diperkenalkan oleh Lotfi A.Zadeh.

Sistem samar adalah sistem yang secara langsung menggunakan konsep samar, yang meliputi himpunan dan logika samar, serta variabel linguistic. Dalam himpunan klasik hanya dikenal dua kemungkinan nilai keanggotaan, yaitu *anggota* dengan nilai kebenaran 1, dan *bukan anggota* dengan nilai kebenaran 0.

Sebaran harga dalam himpunan samar memiliki nilai kebenaran (derajat keanggotaan) yang kontinu antara 0 dan 1. Dalam industri proses, untuk keadaan khusus, pengaman manual sering ikut berperan dalam pengontrolan proses. Suatu sistem yang sulit dikontrol secara otomatis biasanya harus dikontrol secara manual. Prosedur pengontrolan awal (start up) suatu proses merupakan contoh dimana kepakaran manusia sangat berperan dalam menyelesaikan masalah yang sulit dilakukan secara otomatis. Menggunakan konsep samar, operasi manual ini dapat digantikan oleh suatu algoritma. Hal ini yang antara lain mendorong lahirnya

sistem pengaman berbasis logika samar menggunakan AVR Mikrokontroler, dimana konsep samar memegang peranan yang cukup penting.

Sistem pengaman berbasis logika samar dapat didefinisikan sebagai suatu sistem pengaman serbaguna, yang mampu belajar untuk mencapai sasaran yang sudah ditentukan. Kemampuan melakukan optimisasi operasi dalam suatu lingkungan yang kompleks non-linier termasuk sebagai kemampuan system kontrolnya. Karakteristik utama dari sistem pengaman ini adalah kemampuannya dalam menggunakan pengalaman yang lalu untuk memperbaiki kinerjanya. Dalam hal ini, suatu sistem pengaman berbasis logika samar mampu meniru suatu sistem biologi yang mampu mengontrol sendiri dalam suatu lingkungan yang dinamikanya berubah.

Pengontrol pengaman berbasis logika samar memberikan suatu kerangka sistematis untuk mengintegrasikan informasi linguistic. Kelebihan utama sistem samar adalah bahwa sistem samar dapat berfungsi sebagai pendekat universal (*universal approximator*). Dengan demikian bentuk pengaman berbasis logika samar untuk sebarang sistem akan selalu dapat diperoleh. Kelebihan lain adalah bahwa sistem pengaman ini berguna untuk mengontrol sistem yang sulit didefinisikan (*ill defined*) dan nonlinier, yang umumnya tidak dapat dipecahkan menggunakan algoritma konvensional. Algoritma sistem pengaman ini dapat ditambahkan pada sistem konvensional dengan maksud untuk memperbaiki kinerja sistem tersebut. Dalam hal ini sistem pengaman berbasis logika samar berperan pada level supervisor.

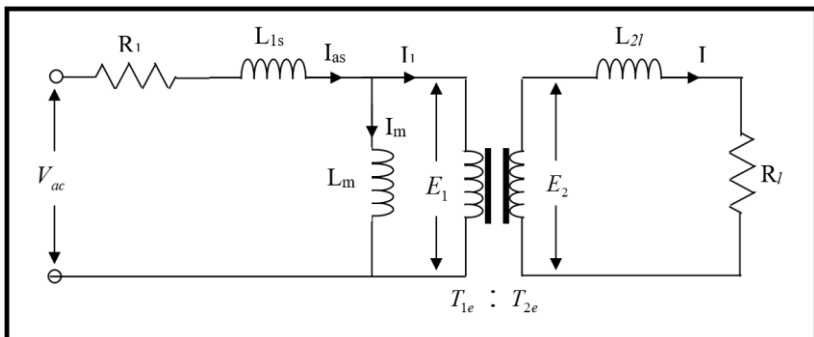
Masalah yang sering didiskusikan terkait dengan sistem pengamanan motor induksi berbasis logika samar menggunakan AVR Mikrokontroler adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana membuat perangkat lunak sistem pengaman motor induksi berbasis logika samar untuk mendeteksi multi gangguan yang sering terjadi di Industri-industri dan pada sistem kelistrikan.
- 2) Bagaimana membangun Prototipe perangkat keras sistem pengaman motor induksi tiga phasa sesuai prinsip-prinsip perangkat lunak yang telah dirancang menggunakan AVR Mikrokontroler.
- 3) Bagaimana menyesuaikan pengoperasian motor induksi agar tetap beroperasi pada tegangan tak seimbang tetapi tidak menimbulkan kerusakan pada motornya.

BAB II

MOTOR INDUKSI TIGA-PHASE

Motor induksi 3-fasa memiliki kedekatan metoda dan prinsip pemanfaatan gejala dan fenomena fisis dengan sebuah transformator tegangan listrik. Kedekatan kemiripan Motor induksi dengan transformator dikarenakan gagasan rancang bangun pengembangannya mengikuti perilaku dan sifat-sifat sebuah transformator tegangan listrik. Model dan rangkaian pengganti motor-motor induksi hampir sama dengan model sebuah transformator (Soe, N. N., dkk.(2008)) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut ini.



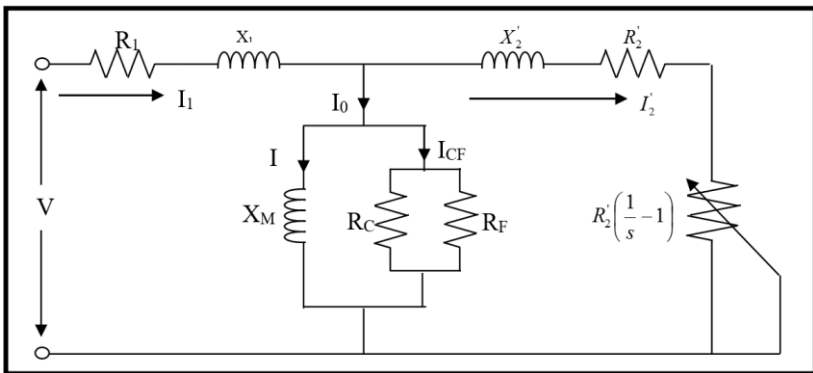
Gambar 2.1. Model Dasar Rangkaian Pengganti Motor Induksi

Motor induksi tiga fasa adalah sebuah motor listrik yang sering sekali diulas dan dijelaskan penggunaannya berhubung ia memiliki konstruksi yang tangguh dan relatif sederhana dan dengan harga yang relatif murah. Bagian stator memuat sejumlah belitan yang dihubungkan dengan tiga aliran arus bolak-balik dengan pergeseran fasa sebesar 120° . Arus-arus ini membangkitkan medan magnet dengan frekuensi sudut yang sama dengan frekuensi listrik dari stator. Lilitan atau gulungan rotor (sangkar rotor) dihadapkan kepada medan magnet yang berubah ubah sehingga arus rotor terimbas alias terinduksi. Frekuensi arus-arus induksi ini sama dengan perbedaan antara frekuensi sudut mekanik dan frekuensi sudut arus stator yakni frekuensi slip. Arus-arus induksi diarahkan tegak lurus terhadap medan magnetik radial sedemikian sehingga dapat membangkitkan gaya-gaya Lorentz. Model ini dapat memperbesar cakupan pengaruh non-linier sehingga memungkinkan untuk memperluas wawasan pada prinsip dasar operasi motor induksi. Oleh sebab itu model ini juga kompeten untuk rancangan pengendalian posisi dan kecepatan. Motor induksi 3-fasa memiliki beberapa komponen utama yakni kumparan utama, kumparan-bantu, kapasitor, dan bantalan yang kompak dan terintegrasi. Besaran melekat lain yang, berpengaruh dan berakibat buruk pada kinerja motor induksi 3-fasa ketika dioperasikan meliputi variable-variabel seperti beban, panas, dan tegangan. Variabel-variabel ini adalah variabel keadaan yang ditunjukkan berupa gejala-gejala kelainan ketika motor induksi tiga-fasa sedang dioperasikan.

Model matematik dapat digunakan untuk mengembangkan wawasan dan pengetahuan tentang motor induksi agar lebih memahami dan mendalami secara rinci sifat dan karakteristik yang dimilikinya. Walaupun sangat sulit untuk

menghitung semua parameter motor induksi dengan tepat, namun merupakan suatu keharusan untuk menentukan nilai parameter-parameter melalui estimasi ketika sedang dianalisis.

Rangkaian pengganti perphasa dengan baik dapat dimodifikasi untuk mengamati dan memperhitungkan rugi-rugi inti, gesekan dan rugi-rugi jangkar ketika motor pada keadaan sedang bekerja menjalankan operasi. Karakteristik operasi ajek (steady state) sebuah motor induksi 3-fasa seringkali diamati dan diselidiki menggunakan rangkaian pengganti per-fasa sebagaimana yang dilukiskan oleh Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Rangkaian Pengganti Per-fasa Sebuah Motor Induksi Tiga fasa

Pada rangkaian pengganti ini tertera R_1 dan X_1 masing-masing sebagai tahanan dan reaktansi belitan stator. Sementara R_2' dan X_2' menyatakan tahanan dan reaktansi belitan rotor relatif terhadap stator. Selebihnya adalah rugi-rugi kebocoran inti yang ditunjukkan oleh tahanan R_C , dan reaktansi magnetisasi ditunjukkan oleh X_M . Perbedaan kecepatan putar relatif antara

rotor dan stator atau *slip* ditunjukkan oleh variabel s . Slip sebuah motor induksi dinyatakan dengan formula (Rijanto, E. and Santoso, A.(2009)) berikut ini.

$$s = \frac{\omega_{sm} - \omega_{rm}}{\omega_{sm}} = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} \quad (2.1)$$

dengan: $\omega_{sm} = \omega_e$ adalah kecepatan sinkron motor dalam satuan kecepatan putar mekanik “rpm”, sementara $\omega_{rm} = \omega_r$ adalah kecepatan putar mekanik rotor juga dalam satuan “rpm”.

Rangkaian pengganti dapat digunakan sebagai fasilitas penghitung untuk berbagai kuantitas operasi seperti arus stator, daya masukan, rugi-rugi, torsi induksi, dan efisiensi. Ketika aspek daya yang diperlukan dalam operasi, tahanan paralel (shunt) R_c dapat saja diabaikan, sementara rugi-rugi inti dapat dimasukkan kedalam perhitungan efisiensi (Kothari, D.P., and Nagrath, I. J.(2004)) bersamaan dengan gesekan, belitan, dan rugi-rugi lainnya.

Oleh sebab itu ketepatan estimasi rugi-rugi yang dialami oleh sebuah motor induksi didalam operasi akan sangat penting disamping kesalahan berarti yang diperoleh ketika mengestimasi efisiensi. Rugi-rugi inti tergantung pada tegangan yang digunakan, sementara rugi-rugi gesekan dan jangkar tergantung pada kecepatan operasi motor. Ketika motor tidak dibebani, daya masukan hanya digunakan untuk memperhitungkan rugi-rugi tanpa beban dalam bentuk rugi-rugi tembaga inti stator, rugi-rugi inti, rugi-rugi jangkar, dan rugi gesekan. Parameter-parameter rangkaian pengganti pada Gambar 2.2 tersebut di atas dapat diperoleh dari uji tegangan dc, uji tanpa beban, dan uji rotor

terkunci – “blocked” (Ayasun, S., and Nwankpa, C.O.(2005), Soe, N.N., et al., (2008)).

Berikut ini adalah analisis impedansi motor induksi 3-fasa dari model yang dilukiskan pada gambar 2.2 di atas itu. Rangkaian pengganti yang tertera itu adalah merupakan rangkaian bentuk **T** yang memiliki impedansi masing-masing sebagai Z_1 , Z_2 , dan Z_3 .

Melalui frekuensi sudut ω , aturan dan hubungan antara tahanan murni R , inductor L , dan kapasitor C , maka impedansi individual dapat ditentukan sebagai $Z = R + jX$, dengan $X = X_L = \omega L$, untuk reaktansi bersifat induktif, dan $X_C = 1/\omega C$ untuk reaktansi bersifat kapasitif (Sardjono, H.(2008). Berdasarkan aturan itu dan hukum seri-paralel dalam rangkaian listrik, maka impedansi Z_1 adalah impedansi (stator) yang berhadapan langsung dengan daya masuk dari sumber listrik (Gambar 2.2) dapat dinyatakan dengan.

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = R_1 + j\omega L_1 \quad (2.2)$$

Impedansi Z_2 adalah merupakan Impedansi (rotor) yang berhubungan dengan beban motor, dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$Z_2 = R_2' + R_2' \left(\frac{1}{s} - 1 \right) + jX_2' = \frac{1}{s} R_2' + j\omega L_2 \quad (2.3)$$

Dan impedansi Z_3 yang terdapat pada kaki **T** merupakan impedansi antara masukan dan keluaran yakni gabungan dari reaktansi belitan magnetisasi motor X_M yang diparalel dengan tahanan R_T . Tahanan R_T ini merupakan hasil parallel tahanan R_C

dengan tahanan R_{FW} . Berikut adalah proses penjabaran untuk memperoleh impedansi Z_3 yang dimaksud.

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_C // R_{FW} = \frac{R_C R_{FW}}{R_C + R_{FW}}, \quad Z_3 = X_M // R_T = \frac{X_M R_T}{R_T + X_M} = \frac{j\omega L_M R_T}{R_T + j\omega L_M} \\
 Z_3 &= \frac{(\omega L_M)^2 R_T + j\omega L_M R_T^2}{R_T^2 + (\omega L_M)^2} = \frac{(\omega L_M)^2 \left(\frac{R_C R_{FW}}{R_C + R_{FW}} \right)}{\left(\frac{R_C R_{FW}}{R_C + R_{FW}} \right)^2 + (\omega L_M)^2} + j \frac{\omega L_M \left(\frac{R_C R_{FW}}{R_C + R_{FW}} \right)^2}{\left(\frac{R_C R_{FW}}{R_C + R_{FW}} \right)^2 + (\omega L_M)^2} \\
 Z_3 &= \frac{(R_C R_{FW})(R_C + R_{FW})(\omega L_M)^2}{(R_C R_{FW})^2 + \{(\omega L_M)(R_C + R_{FW})\}^2} + j \frac{\omega L_M (R_C R_{FW})^2}{(R_C R_{FW})^2 + \{(\omega L_M)(R_C + R_{FW})\}^2}
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Persamaan terakhir di atas itu merupakan impedansi per fasa dari motor induksi 3-fasa yang dimaksud dengan parameter-parameter seperti yang tertera pada Gambar 2.2.

Berikut ini akan dijelaskan melalui analisis rinci dengan percobaan dan atau melalui simulasi (numerik) model dengan perangkat aplikasi yang telah tersedia secara memadai misalnya dengan menggunakan “C++, MATLAB/SIMULINK” atau dengan perangkat aplikasi lain yang juga telah tersedia misalnya SCILAB.

Standard Uji dan Pengukuran Parameter Motor Induksi 3-fasa

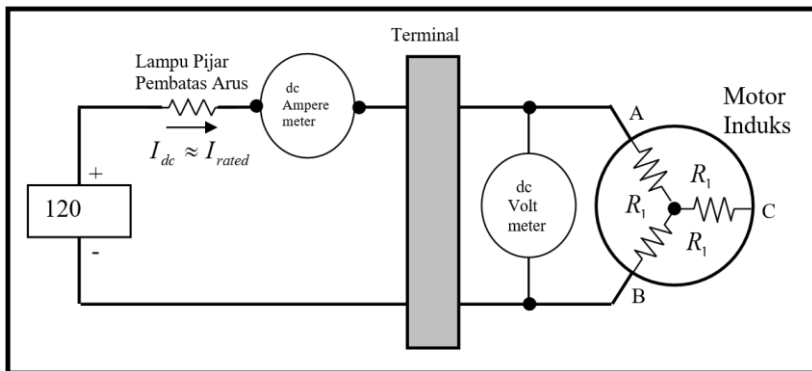
Variabel V merupakan tegangan yang diberikan sebagai input, R_1 dan X_1 masing-masing merupakan tahanan dan reaktansi stator, dan R_2' dan X_2' adalah tahanan dan reaktansi rotor relatif terhadap stator. Rugi-rugi inti ditunjukkan oleh tahanan R_C , Rugi-rugi karena umur belitan dan gesekan diwakili oleh tahanan R_{FW} , dan reaktansi X_M menunjukkan reaktansi magnetisasi. Variabel s

merupakan besaran slip operasi, I_1 adalah arus stator, I_0 menunjukkan komponen arus tanpa beban, dan I_2' adalah arus rotor relatif terhadap sisi stator.

Parameter-parameter yang diwakili oleh variabel X_1, X_2', X_M, R_C , dan R_{FW} dapat diperoleh dari data-data hasil test (uji) tanpa beban dan rotor terkunci (*blocked-rotor test*).

Uji Tegangan Searah (dc)

Uji tegangan searah ini dilakukan untuk menghitung tahanan belitan stator R_1 . Susunan percobaan pengukuran tahanan belitan stator R_1 pada uji tegangan dc yang dimaksudkan diperlihatkan pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Susunan Percobaan Pengukuran Tahanan Stator Pada Uji Tegangan Searah

Tegangan dc diberikan pada belitan stator motor induksi itu. Arus yang ditimbulkan akan mengalir melalui gulungan stator sebagai arus searah, jadi reaktansi motor adalah nol, dan tidak

akan terjadi tegangan induksi pada rangkaian rotor. Sebuah sumber daya tegangan 120 Volt dc digunakan pada dua fasa dari hubungan bintang Y sebuah motor induksi 3-fasa. Pada susunan itu dipasang lampu pijar yang digunakan sebagai beban tahanan yang dapat diatur untuk memperoleh arus pada suatu nilai tertentu yang diinginkan. Tahanan belitan stator adalah satu-satunya parameter rangkaian yang dapat menjadi pembatas aliran arus didalam sistem. Setelah pengukuran tegangan dan arus searah dalam percobaan yang dilakukan ber-kali-kali untuk ketiga fasa A, B, dan C dan kombinasinya, maka dapat dihitung besarnya parameter tahanan belitan stator R_1 .

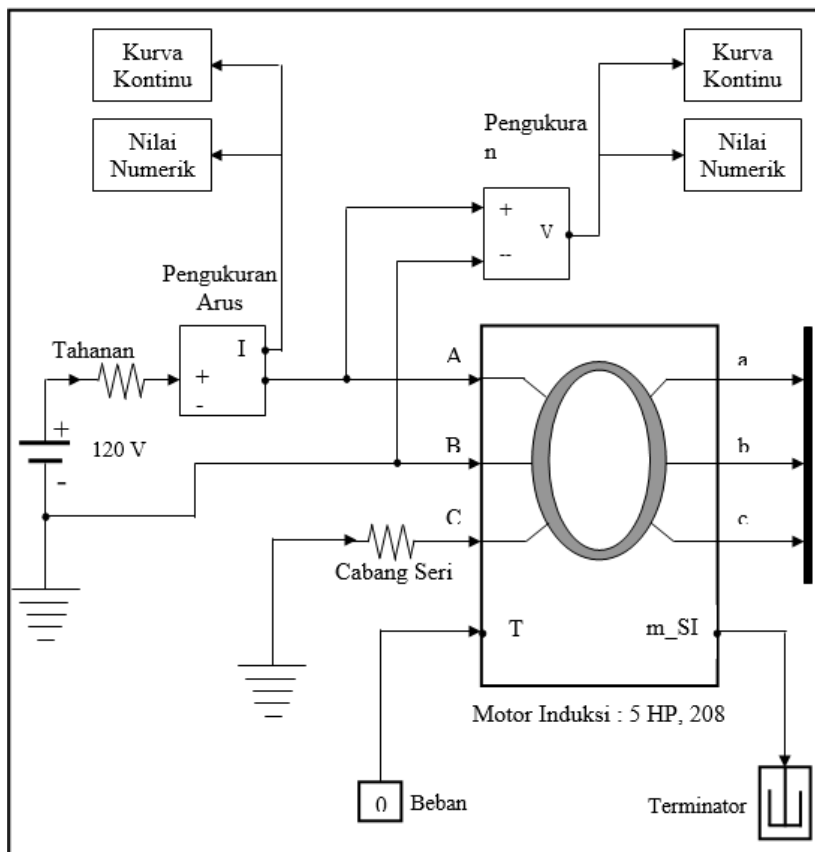
Susunan percobaan yang dibahas pada pada Gambar 2.3 hanya dapat diamati, dipantau, dan diukur secara manual dan konvensional dengan instrumen analog, tetapi tidak dapat diakses, direkam, dan diolah secara interaktif. Untuk mengatasi hal itu, maka dapat dilakukan pengukuran terhubung langsung, waktu nyata, dan interaktif (*On-line real-time and interactive*) menggunakan paket-paket perangkat lunak yang telah tersedia secara memadai dan menggunakan akuisisi data dengan instrumen digital. Berikut pada Gambar 2.4 dilukiskan block diagram suatu gagasan simulasi numerik yang dapat menggunakan paket perangkat lunak apa saja untuk menghitung parameter tahanan stator R_1 dari sebuah motor induksi 3-fasa (Ayasun, S.(2005)).

Arus I_{dc} yang akan mengalir melalui belitan stator dapat diukur dengan sebuah ampere-meter dc, dan tegangan diantara dua fasa A dan fasa B (fasa C mengambang – *floating* atau *dibumikan* “*grounded*” setelah tahanan R_1 untuk memenuhi syarat *rangkaian lengkap*) dari motor induksi itu dalam susunan ini dapat pula diukur dengan sebuah volt-meter dc. Baik dari Gambar 2.2 maupun dari Gambar 2.1 yang lebih jelas dapat dinalar,

menunjukkan bahwa hasil dari kedua pengukuran dalam uji dc ini akan menghasilkan perhitungan tahanan stator R_1 yang dinyatakan seperti berikut ini.

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{2I_{dc}} \quad (2.5)$$

dengan: R_1 adalah nilai tahanan stator yang dihitung, V_{dc} , dan I_{dc} masing-masing adalah tegangan, dan arus yang diukur.

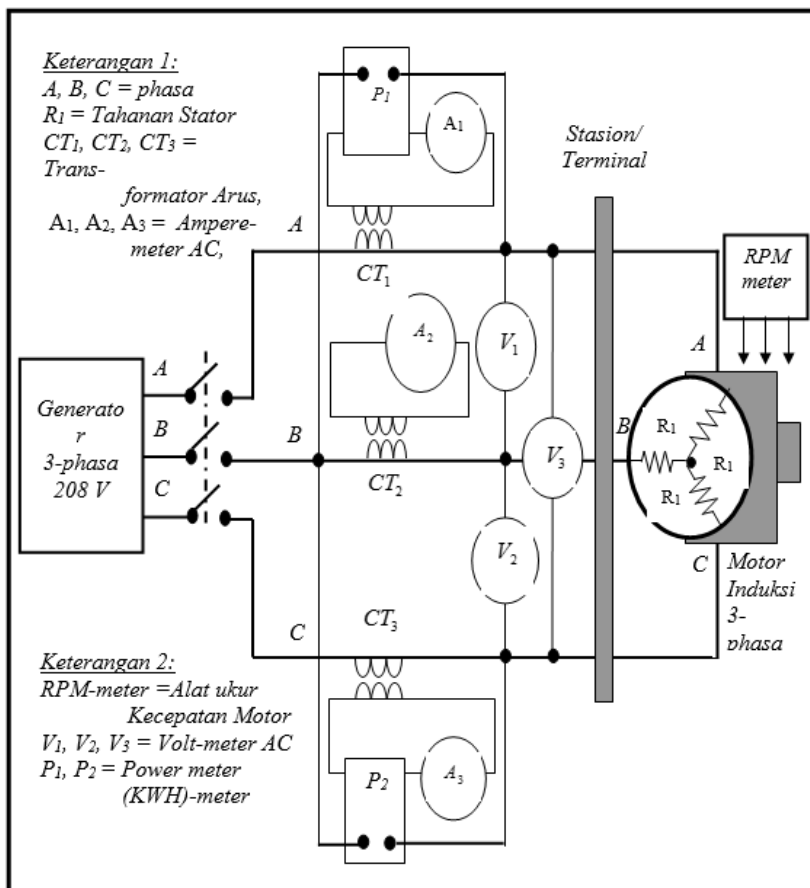


Gambar 2.4 Blok Diagram Susunan Pengukuran Tahanan Stator R_1

Menghitung tahanan stator R_1 melalui Gambar 2.4 hanya dapat dilakukan secara konvensional untuk beberapa kali pencatatan secara manual dari pembacaan tegangan V_{dc} , dan arus I_{dc} bersamaan dalam suatu percobaan. Sementara dengan menggunakan Gambar 2.4 dapat dilakukan dengan simulasi numerik dan atau pengukuran langsung menggunakan perangkat digital yang diolah dalam waktu nyata (*On-line real time*). Gambar 2.4 merupakan kelengkapan dan terapan gambar 2.3 dengan menambahkan atau menggunakan instrumen digital dan pengolah data yang interaktif

Uji (Test) Tanpa Beban

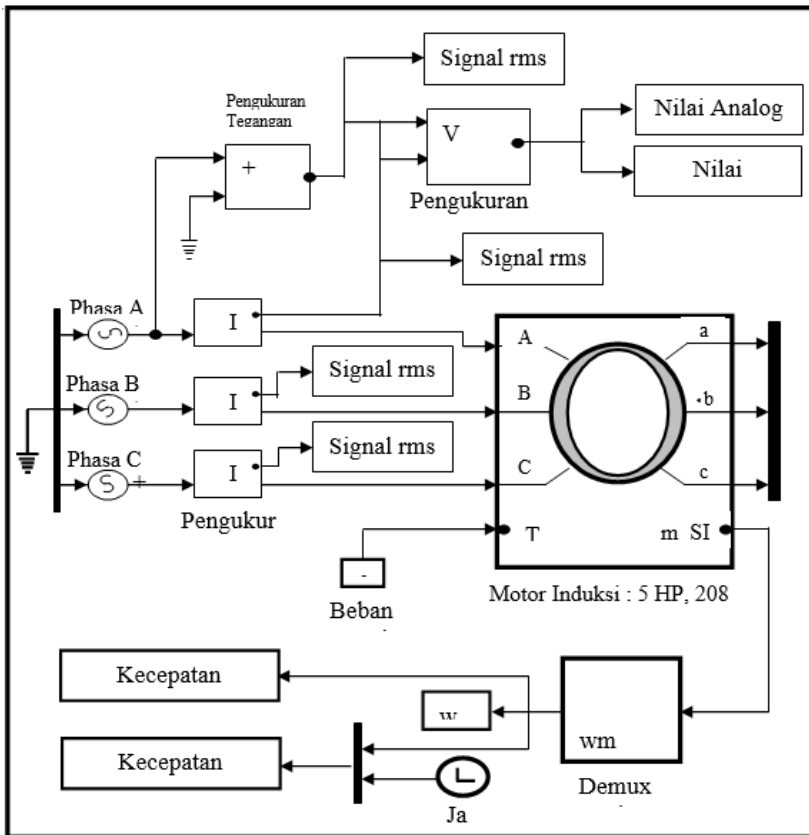
Pengujian tanpa beban pada motor induksi adalah dipergunakan untuk mengukur rugi-rugi putaran motor beserta beberapa parameter rangkaian pengganti motor induksi 3-fasa lainnya. Susunan instalasi pengukuran yang dapat digunakan sebagai jaringan dalam laboratorium pendidikan teknik listrik tegangan tinggi dilukiskan (Ayasun, S.(2005)) pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Instalasi Percobaan Uji Tanpa Beban

Motor induksi digerakkan pada kecepatan sinkron dengan motor yang lain (dengan motor dc akan lebih baik), kemudian stator diberi daya atau tenaga menggunakan tegangan nominal pada frekuensi nominal pula. Pada saat yang sama kemudian pasokan daya per-fasa (Soe, N. N., dkk.(2008)) diukur memanfaatkan hasil pengukuran tegangan dan arus fasa

bersamaan (on-line real time) menggunakan prosesor dan instrumen-instrumen digital (*instrumen digital volt-meter V , ampere-meter I , KWH-meter PQ , untuk daya aktif P_a dan reaktif Q_a*) seperti pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Ikhtisar Susunan Pengukuran Parameter Uji Tanpa Beban

Gambar 2.6 menunjukkan gagasan pengukuran parameter pada uji tanpa beban dimana sumber pasokan daya listrik bolak-

balik 3-fasa seimbang hubungan Y dengan tegangan per-fasa adalah 120 V, 60 Hz diberikan pada terminal sisi stator motor induksi. Masukan listrik kepada motor adalah pada ketiga hubungan listrik dari stator pada terminal yang ditunjukkan oleh A, B, dan C, sementara keluarannya pada ketiga hubungan listrik rotor yang ditunjukkan oleh terminal a, b, dan c yang dihubungkan singkat. Torsi mekanik pada poros mesin sebagai beban ditunjukkan oleh terminal masukan T_m yang diatur ke nilai nol ($T_m = 0$) untuk mensimulasikan keadaan “*tanpa beban*” yang dimaksud. Selain terminal T_m terdapat juga terminal m_SI yang memungkinkan untuk melakukan pengukuran untuk memperoleh beberapa variabel seperti kecepatan (mekanik) rotor dan torsi (listrik).

BAB III

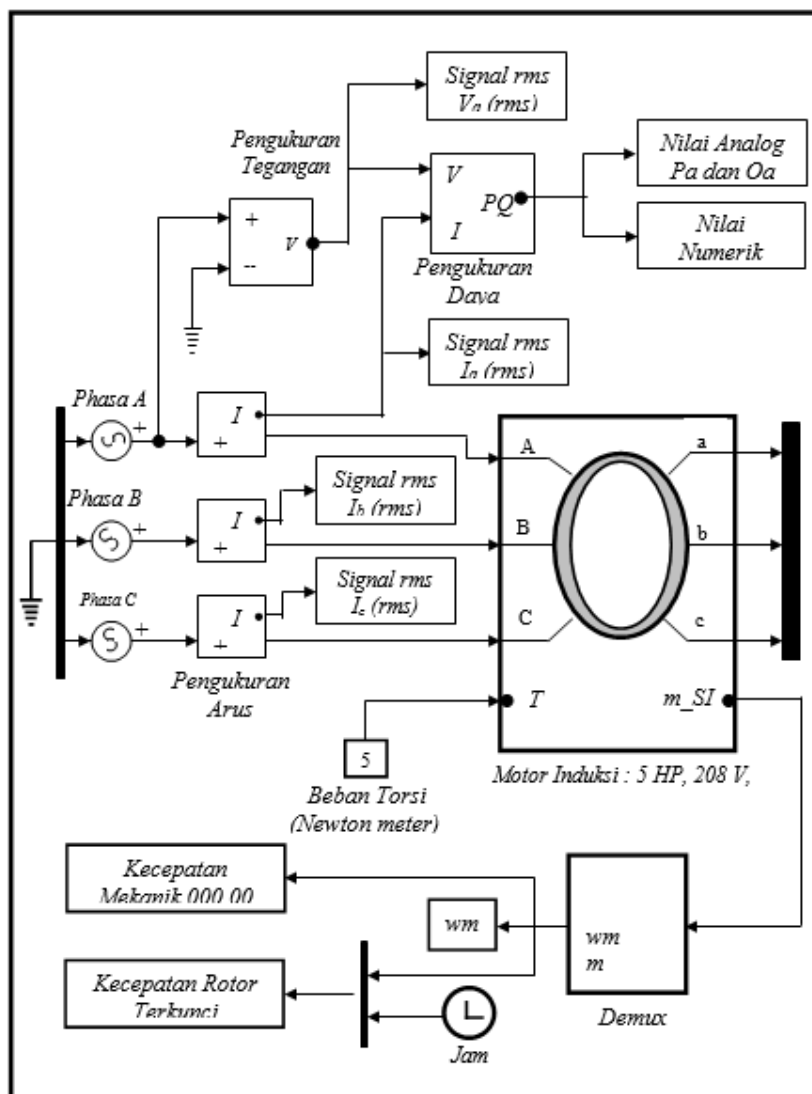
UJI ROTOR TERKUNCI DAN ANALISIS GANGGUAN

Uji rotor terkunci pada sebuah motor induksi dilakukan untuk menghitung beberapa parameter yang terlibat dalam rangkaian pengganti. Pada pengujian ini, rotor motor induksi dikunci, dan reduksi tegangan pada terminal stator diberikan sedemikian sehingga arus nominal dapat mengalir belitan stator. Nilai slip $s = 1$ untuk kondisi rotor terkunci (perhatikan akibat pers.(2.1)), maka kemudian rangkaian menjadi identik dengan sebuah transformator tegangan yang terhubung singkat pada sisi sekunder (Soe, N. N., et al.(2008)).

Pasokan (input) daya juga diukur bersamaan melalui pemanfaatan pengukuran tegangan dan arus perphasa pada stator sebagaimana yang dilakukan pada pengukuran dan pengujian tanpa beban. Susunan percobaan untuk uji rotor terkunci hampir sama dengan susunan pada percobaan uji tanpa beban seperti pada Gambar 2.3. Perbedaanya hanya pada seperangkat pasangan motor dc dan generator sinkron, dan sebuah auto transformator yang dirangkai dalam jaringan percobaan pembentuk uji rotor terkunci sebagai pengaturan

tegangan pada stator untuk berbagai frekuensi. Gagasan uji rotor terkunci untuk pengukuran terhubung langsung dan pengolahan informasi waktu nyata sebagaimana pada uji tanpa beban dilukiskan pada Gambar 2.6. Gambar ini mirip dengan Gambar 2.7, tetapi ada perbedaan yang mendasar diantara dua gambar itu, yaitu inersia motor induksi pada pengujian ini diberi nilai tak berhingga untuk mensimulasikan kondisi rotor terkunci.

Torsi mekanik diatur dengan nilai yang diinginkan selain angka nol, misalnya $T_m = 5$ (*Newton meter*), yang tidak akan mempengaruhi kondisi rotor terkunci terhubung inersia ada pada nilai tak hingga ($I = \infty$) sehingga rotor juga tetap pada kecepatan nol selama simulasi. Berbagai variasi frekuensi uji untuk simulasi rotor terkunci dapat diperoleh dengan merubah-rubah frekuensi dari sebuah sumber tegangan *hubungan Y* dibandingkan dengan penggunaan sebuah pasangan generator sinkron dan motor dc (Ayasun, S. (2005), pp. 41).



Gambar 3.1 Diagram Susunan Pengukuran Parameter Uji Rotor Terkunci

Tahanan dan reaktansi motor yang diukur dalam pengujian rotor terkunci pada frekuensi tertentu dinyatakan (Ayasun, S.(2005)) dengan.

$$|Z_{br}| = R_{br} + jX'_{br} = \frac{V_a}{I_\phi} \quad (3.1)$$

dengan: R_{br} , X'_{br} masing-masing adalah tahanan dan reaktansi rotor terkunci dibawah frekuensi uji, dan V_a , dan I_ϕ masing-masing adalah Tegangan dan arus phasa.

Selanjutnya berturut-turut R_{br} dan X'_{br} ditentukan oleh hubungan besaran hasil pengukuran sebagaimana berikut ini.

$$R_{br} = \frac{P_a}{I_\phi^2}, \quad X'_{br} = X'_1 + X'_2 = \sqrt{|Z_{br}|^2 - R_{br}^2}, \text{ atau} \quad (3.2)$$

$$X'_{br} = X'_1 + X'_2 = \frac{Q_a}{I_\phi^2}$$

Jika frekuensi uji yang digunakan berbeda dengan frekuensi nominal, maka reaktansi pengganti total pada frekuensi operasi normal berbanding lurus dengan frekuensi itu sehingga

$$X_{br} = \frac{f_{rated}}{f_{test}} X'_{br} = X_1 + X_2 \quad (3.3)$$

Apabila ketiga pengujian telah diselesaikan dengan lengkap, maka parameter-parameter rangkaian pengganti dengan mudah dapat dihitung sebagaimana berikut ini.

1. Tahanan stator R_1 dapat dihitung langsung dari pengujian dengan tegangan dc.

2. Jumlah reaktansi magnetisasi X_M dan reaktansi kebocoran stator X_1 dihitung dari data hasil uji tanpa beban, dan
3. Reaktansi rugi-rugi pada stator dan rotor masing-masing dapat dihitung dari data-data hasil uji rotor terkunci.

Ketika klasifikasi sebuah motor induksi tidak diketahui dan belum teridentifikasi dengan baik, maka dibenarkan untuk menganggap bahwa $X_1 = X_2 = 0.5 X_{br}$, sehingga reaktansi magnetisasi X_M dapat dievaluasi menggunakan pers.(3.9) dan dinyatakan dengan.

$$X_M = |Z_{nl}| - X_1 \quad (3.4)$$

Sebagaimana dengan tahanan rotor R_2 , diperlukan suatu pendekatan yang lebih baik berhubung ia memiliki pengaruh lebih pada kinerja motor dibandingkan dengan parameter motor lainnya. Melalui data rangkaian pengganti dibawah kondisi rotor terkunci dengan pendekatan tertentu, diperoleh tahanan R_2 (Ayasun, S.(2005)) berikut ini.

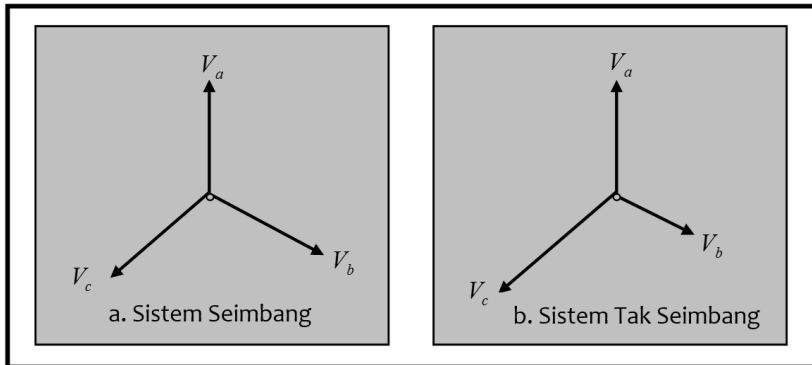
$$R_2 = (R_{br} - R_1) \left[\frac{X_2 + X_M}{X_M} \right]^2 \quad (3.5)$$

Analisis Gangguan Operasi Motor Induksi 3-Phasa

Gangguan utama pada motor induksi ketika dioperasikan dalam industri pada dasarnya dipengaruhi oleh tingkat kualitas pasokan daya listrik 3-fasa. Kualitas pasokan daya listrik ini dapat dikenali dari peristiwa ketidaksamaan magnituda ketiga tegangan

phasa dan atau adanya perubahan atau pergeseran sudut phasa dari 120° (yang semestinya).

Ketidakseimbangan pasokan daya listrik tiga phasa dapat disimak dan difahami dari ilustrasi vektor tegangan dan phasor sudut antar phasa (Gosbell, V. J., dkk.(2002)) pada Gambar 3.2 berikut ini



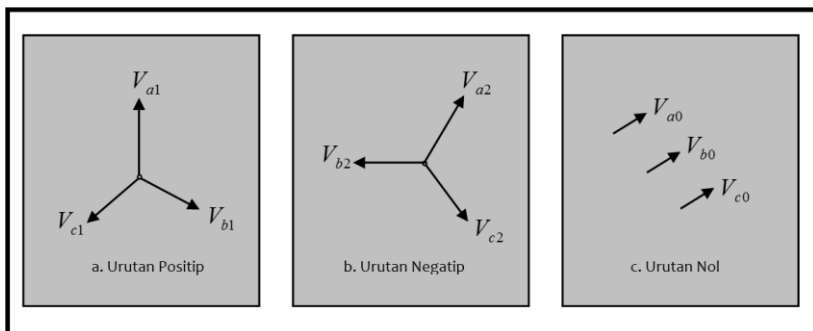
Gambar 3.2 Ilustrasi Sistem Pasokan Daya Listrik Seimbang - Takseimbang)

Pada gambar 3.2a terlihat bahwa ketiga vector tegangan phasa memiliki magnituda yang sama dan besarnya sudut pergeseran phasa adalah sama sebesar 120° . Sementara pada gambar 3.2b menunjukkan adanya ketidaksamaan pada magnituda tegangan dan besarnya sudut phasa (terjadi perubahan tegangan dan pergeseran sudut phasa).

Penyebab ketidakseimbangan tegangan yang diberikan kepada motor induksi 3-fasa disebabkan oleh beberapa kondisi seperti distribusi beban satu phasa yang tidak merata karena penggunaan yang acak pada jaringan dalam suatu satuan waktu) Keadaan demikian itu dipertegas oleh kejadian jaringan buka ketika perbaikan jaringan, terjadi hubung singkat, tidak simetris, hilangnya satu phasa akibat sikring pengaman putus (yang dikenal

sebagai operasi satu fasa - *single phasing operation*). Magnituda tegangan yang tidak seimbang menghasilkan arus urutan fasa negatif menciptakan medan magnet yang berlawanan arah dengan medan magnet hasil arus urutan positif.

Dengan medan magnet itu timbul arus induksi pada konduktor belitan rotor dan badan motor yang pada gilirannya menghasilkan tambahan panas pada keduanya. Jumlah panas yang tercipta tergantung dari tingkat ketidakseimbangan tegangan yang terjadi dan dapat mengancam keamanan motor. Level ketidakseimbangan tegangan yang ada pada sistem dapat dikenali dan ditandai menggunakan dua definisi yang digunakan secara umum. Menurut standard yang digunakan secara luas di Eropa, definisi yang dimaksud pertama kali berasal dari teori komponen simetrik yang mana secara matematik memisahkan sistem ketidakseimbangan kedalam tiga sistem seimbang. Ketiga keadaan ini masing-masing disebut sebagai sistem: a. urutan positif, b. urutan negatif, dan c. urutan nol (*zero sequence*) seperti yang diperagakan oleh Gambar 3.3 berikut ini (Gosbell, V. J., dkk.(2002)).



Gambar 3.3 Komponen Simetrik Dari Suatu Sistem Ketidakseimbangan Tegangan

Untuk sistem yang seimbang sempurna, baik sistem urutan negatif maupun urutan nol akan menghilang (tidak akan muncul). Urutan sistem ini dapat memberikan beberapa interpretasi dan penafsiran ilmu fisika. Arah putaran sebuah motor induksi 3-fasa yang mengalami pasokan tegangan urutan negatif seperti pada Gambar 3.3a adalah berlawanan arah dengan putaran yang disebabkan oleh pasokan tegangan urutan positif seperti pada Gambar 3.3b. Sementara motor induksi 3-fasa yang mendapat pasokan tegangan tanpa ada pergeseran atau beda fasa dari diantara ketiganya seperti pada Gambar 3.3c, ditafsirkan bahwa motor tersebut tidak akan berputar sama sekali berhubung ketiadaan putaran medan magnet induksi.

Oleh karena, hanya ada dua kondisi yang ditetapkan pada definisi kedua sebagai definisi untuk keadaan ketidakseimbangan masing-masing sebagai “*Faktor Ketidakseimbangan Tegangan Urutan Negatif*” dan “*Faktor Ketidakseimbangan Tegangan Urutan Nol*” yang dinyatakan dengan formula (Gosbell, V. J., dkk.(2002)) berikut ini.

$$VUF_{NS} = \frac{V_2}{V_1}, \quad VUF_{ZS} = \frac{V_0}{V_1} \quad (3.6)$$

dengan: V_1, V_2 , dan V_0 masing-masing adalah tegangan urutan positif, tegangan urutan negatif, dan tegangan urutan nol.

Namun untuk arus arus imbas dari urutan nol tidak dapat mengalir didalam sistem 3 kawat sebagaimana dengan motor induksi 3-fasa, sehingga ketidakseimbangan tegangan urutan nol tidak memiliki nilai praktis. Ketidakseimbangan tegangan urutan negatif merupakan besaran kuantitas yang bernilai lebih praktis sebagaimana yang ditunjukkan oleh level tegangan yang cenderung membalik arah putaran motor induksi 3-fasa berlawanan arah

dengan putaran mapan yang dibangun oleh tegangan urutan positif.

Ketidakseimbangan tegangan urutan negatif dapat dinyatakan dengan formula (Gosbell, V. J., dkk.(2002)) berikut ini.

$$VU_{NS} = \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (3.7)$$

dengan: $\beta = \frac{(V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4)}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2}$, dimana

V_{ab}, V_{bc} , dan V_{ca} masing-masing adalah tegangan relatif antar fasa ($V_a \mapsto V_b, V_b \mapsto V_c$, dan $V_c \mapsto V_a$).

Bentuk pers.(3.7) tersebut di atas tampak cukup lebih akrab sebagaimana terlihat bahwa hanya dibutuhkan pembacaan atau pengukuran ketiga tegangan relatif antar fasa sehingga didalam beberapa literatur diperkenalkan juga sebagai factor ketidakseimbangan tegangan VUF (*Voltage Unbalance Factor*) yang akan ditunjukkan kemudian.

Definisi standard menurut NEMA (*National Electrical Manufactures Association of USA*) untuk ketidak seimbangan tegangan dinyatakan dengan formula berikut ini.

$$VoltageUnbalance = \frac{\text{Maximum deviation from mean of } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}\}}{\text{Mean of } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}\}} \quad (3.8)$$

dengan: V_{ab}, V_{bc} , dan V_{ca} masing-masing adalah tegangan fasa bersangkutan.

Variasi tegangan merupakan perubahan acak dari magnituda tegangan yang berhubungan dengan beban tanur, siklus operasi motor termasuk perubahan-perubahan kecepatan. Ketidakseimbangan tegangan adalah ketidaksamaan magnituda tegangan dan atau sudut tegangan diantara ketiga fasa setiap

saat. Kejadian ini disebabkan oleh ketidaksamaan distribusi beban fasa-tunggal, impedansi belitan transformator, dan ketidaksimetrian fasa, operasi berubah waktu dari beban satu fasa, fuse putus pada bank kapasitor 3-fasa (Kim et al. (2005)).

Alasan utama kejadian ketidakseimbangan tegangan adalah ketidaksesuaian atau ketidakserasian dan ketidakcocokan kebutuhan daya reaktif antara stasiun pembangkit tenaga listrik dan utilitas industri. Sehubungan dengan operasi 3-fasa dan operasi fasa tunggal pada waktu yang bervariasi, ada kemungkinan tertentu dari variasi tegangan di atas dan di bawah nilai nominal baik dalam bentuk seimbang, maupun tidak seimbang. Karena itu variasi ketidakseimbangan dan variasi tegangan dapat dibagi menjadi tegangan lebih seimbang BOV (*Balanced Over Voltage*), tegangan kurang seimbang BUV (*Balanced Under Voltage*), tegangan kurang tidak seimbang UBUV (*Unbalanced Under Voltage*), dan tegangan lebih tidak seimbang UBOV (*Unbalanced Over Voltage*).

Tegangan lebih seimbang BOV adalah keadaan atau kondisi dimana tegangan 3-fasa adalah baik secara bersama-sama dan sendiri-sendiri lebih besar dari tegangan normal. Tegangan kurang seimbang adalah keadaan dimana tegangan 3-fasa adalah baik secara bersama-sama dan sendiri-sendiri lebih kecil dari tegangan normal. Tegangan lebih tidak seimbang UBOV adalah kondisi dimana tegangan-tegangan fasa dari ketiganya saling tidak sama dengan komponen tegangan urutan positif lebih besar dari nilai tegangan nominal. Sementara tegangan kurang tidak seimbang UBUV adalah kondisi dimana tegangan-tegangan fasa dari ketiganya saling tidak sama dengan komponen tegangan urutan negatif lebih kecil dari nilai tegangan nominal.

Kecil sekali kemungkinannya bahwa semua tegangan dari ketiga fasa tetap konstan dan sama sepanjang waktu sehingga

analisis hanya dapat dibatasi dan dilakukan untuk kasus tegangan lebih tidak seimbang UBOV dan tegangan kurang tidak seimbang UBUV.

Ketidakseimbangan tegangan telah dinyatakan dalam berbagai cara seperti yang telah dikemukakan oleh ((Faiz, J. et al.,(2006,2004), Gosbell, V.J., dkk.(2002)), Kim, et al., (2005), Lee, C.J.(1999), Pillay, P. et al., (2002), dan Wang, Y.J.(2001)).

Pada kasus hubungan Δ (delta) yang tidak memiliki jalur hubungan dengan netral sehingga tidak akan ada aliran arus urutan nol. Dengan demikian, maka factor ketidakseimbangan tegangan VUF (*Voltage Unbalance Factor*) dinyatakan oleh Komisi Elektroteknik Internasional IEC dengan formulasi seperti berikut ini.

$$VUF = \frac{V_N}{V_P} \times 100 \% \quad (3.9)$$

dengan: V_N, V_P masing-masing adalah komponen magnituda tegangan urutan negatif, dan urutan positif.

Menurut penjelasan IEC (*International Electrotechnical Commission*) bahwa VUF pada pers.(3.9) dapat memberikan pemahaman lebih baik tentang ketidakseimbangan tegangan dalam satuan prosentase. Namun Faiz, J. et al. (2004) dan Pillay, P. et al., (2002) masih menyarankan perlunya analisis lebih luas yang meliputi bidang kompleks dalam bentuk phasor hingga lebih tepat diformulasikan seperti berikut ini.

$$CVUF = \frac{V_N \angle \theta_{VN}}{V_P \angle \theta_{VP}} = K_V \angle \theta_V \quad (3.10)$$

dengan: $K_V = |V_N/V_P|$ adalah Faktor Ketidakseimbangan Tegangan VUF, $\theta_V = (\theta_{VN} - \theta_{VP})$ adalah sudut phasa

dimana V_N mendahului V_P , $V_V \angle \theta_{VP}$, dan $V_N \angle \theta_{VN}$ masing-masing adalah tegangan urutan positif, dan urutan negatif.

Adanya ketidakseimbangan yang terjadi diantara tegangan-tegangan fasa menuntun kepada terjadinya ketidakseimbangan diantara arus-arus di ketiga fasa dengan formula seperti berikut ini.

$$CVUF = \frac{I_N \angle \theta_{CN}}{I_P \angle \theta_{CP}} = K_C \angle \theta_C \quad (3.11)$$

dengan: $K_C = |I_N / I_P|$ adalah Faktor Ketidakseimbangan Arus CUF , $\theta_C = (\theta_{CN} - \theta_{CP})$ adalah sudut fasa dimana I_N mendahului I_P , $I_V \angle \theta_{CP}$, dan $I_N \angle \theta_{CN}$ masing-masing adalah tegangan urutan positif, dan urutan negatif.

Ketidakseimbangan tegangan domain kompleks CVUF telah dikedepankan sebagai factor untuk penjelasan bagi VUF sedemikian sehingga menunjukkan keharusan penggunaan sudut θ_V selama analisis kinerja motor induksi (Wang, Y. J.(2001)). Dengan kondisi tidak simetri dan dengan dibawah teknik penggunaan komponen simetri, maka suatu motor induksi 3-fasa kini dapat dipencar menjadi rangkaian pengganti urutan positif dan rangkaian pengganti urutan negatif dengan spesifikasi phasor (Gosbell, V. J., dkk.(2002)) berikut ini.

$$V_P \angle \theta_{VP} = \frac{V_{RY} \angle 0 + a V_{YB} \angle \theta_{YB} + a^2 V_{BR} \angle \theta_{BR}}{3} \quad (3.12)$$

$$I_{IP} \angle \theta_{CP} = \frac{V_P \angle \theta_{VN}}{Z_P \angle \varphi_P} \quad (3.13)$$

Sementara untuk rangkaian pengganti urutan negatif dinyatakan dengan persamaan.

$$I_{IN} \angle \theta_{CN} = \frac{V_N \angle \theta_{VN}}{Z_N \angle \varphi_N} \quad (3.14)$$

dengan: $V_P \angle \theta_{VP}$ dan $V_N \angle \theta_{VN}$ adalah masing-masing tegangan urutan positif dan negatif; sementara $I_{IP} \angle \theta_{CP}$ dan $I_{IN} \angle \theta_{CN}$ masing-masing adalah arus stator urutan positif dan negatif, dan $Z_P \angle \varphi_P$, dan $Z_N \angle \varphi_N$ masing-masing adalah impedansi input urutan positif dan negatif, dan operator $a = 1 \angle 120^\circ$, dan $a^2 = 1 \angle -120^\circ$.

Sekarang arus individu per-fasa dapat dinyatakan oleh ketiga arus fasa berikut ini.

$$\left. \begin{aligned} I_R \angle \theta_R &= I_P \angle \theta_{CP} + I_N \angle \theta_{CN} \\ I_Y \angle \theta_Y &= a^2 I_P \angle \theta_{CP} + a I_N \angle \theta_{CN} \\ I_B \angle \theta_B &= a I_P \angle \theta_{CP} + a^2 I_N \angle \theta_{CN} \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Daya nyata keluaran adalah jumlah dari komponen daya nyata keluaran urutan positif dan urutan negatif sebagai berikut ini.

$$P_O = P_P + P_N \quad (3.16)$$

Keluaran atau output daya nyata urutan positif P_P dan daya nyata urutan negatif P_N masing-masing dinyatakan oleh dua komponen pada persamaan berikut ini.

$$P_P = \frac{3(I'_{2P})^2 + R'_2(1-s)}{s} \quad (3.17)$$

$$P_N = \frac{3(I'_{2N})^2 + R'_2(s-1)}{(2-s)}$$

dengan: I'_{2P} dan I'_{2N} , masing-masing adalah komponen arus urutan positif dan urutan negatif pada belitan rotor.

Untuk operasi ajek (*steady state operation*), torsi beban T_L akan menjadi sama dengan torsi motor T_M itu sendiri sehingga dapat dinyatakan dengan.

$$T_M = T_L \quad (3.18)$$

Oleh karena T_M adalah torsi yang dibangun oleh motor selama operasi, maka pada kondisi ketidak seimbangan tegangan, torsi pada motor menjadi.

$$T_M = T_P + T_N \quad (3.19)$$

dengan: T_N dan T_P masing-masing adalah komponen torsi urutan negatif dan torsi urutan positif motor yang menderita ketidak seimbangan tegangan.

Daya input total dinyatakan dengan.

$$P_{IN} = \text{Real}\{3(V_P I_P^* + V_N I_N^*)\} \quad (3.20)$$

dengan: Tanda “*” menunjukkan nilai konjugasi.

Dan pada akhirnya efisiensi motor induksi 3-fasa dinyatakan oleh persamaan berikut ini.

$$\eta = \frac{P_P + P_N}{P_{IN}} \times 100 \% \quad (3.21)$$

Disamping pengaruh ketidakseimbangan tegangan fasa yang diberikan kepada motor 3-fasa, beban motor juga menyumbang energi panas pada motor, namun demikian keseluruhan masalah

panas motor dapat diatasi dengan memanfaatkan sensor atau transduser panas *LM35* untuk memantau dan mengukur panas melalui temperatur belitan motor 3-fasa itu.

BAB IV

PENYEBAB TIMBULNYA TEGANGAN TAK SEIMBANG

Ketidakseimbangan tegangan 3 fasa yang terjadi pada sistem distribusi, dapat diamati pada saluran fasa ke netral untuk setiap fasa R, S, dan T. Tegangan antar fasa tidak seimbangan biasanya disebabkan oleh kesalahan distribusi ‘*tap connections*’ transformator; dan tidak stabilnya tegangan suplai dari sumber. Penyebab lainnya adalah sistem ‘*open-delta transformator*’; serta berasal dari motor itu sendiri.

Tegangan yang bervariasi dan tidak seimbang keduanya dapat mengganggu operasi motor dan menimbulkan pemborosan energi. Pada umumnya motor dirancang untuk beroperasi pada besar tegangan yang sama untuk setiap fasanya. Tegangan yang tidak seimbang, memiliki besaran dan sudut yang berbeda.

Motor yang beroperasi pada tegangan yang tidak seimbang mengakibatkan menurunnya torsi keluaran dan panas yang berlebihan. Akibat buruk tersebut, berhubungan langsung dengan sudut ketidakseimbangan tegangan.

Pengaruh buruk dari tegangan tidak seimbang pada pengoperasian motor induksi 3 fasa berasal dari kenyataan bahwa ‘*unbalance voltage*’ terdiri atas 2 komponen yang berlawanan :

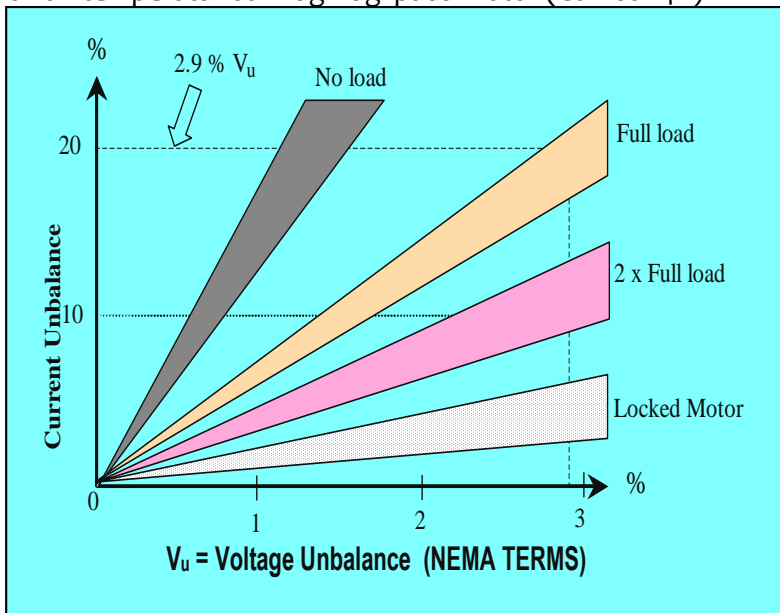
1. Komponen urutan positif, menghasilkan torsi positif yang diperlukan. Besar dari torsi ini lebih kecil dari pada output torsi normal dari suplai daya bila tegangan seimbang. Rugi-rugi yang timbul pada kondisi demikian lebih tinggi dibanding rugi-rugi normal motor, sebab tegangan urutan positif biasanya lebih rendah dari tegangan kerja.
2. Komponen urutan negatif, menghasilkan torsi negatif yang tidak diperlukan. Adanya torsi negatif semuanya diserap oleh motor sehingga memperbesar rugi-rugi. Bila tegangan urutan positif menaikkan ketidakseimbangan tegangan sedangkan tegangan urutan negatif menurunkan ketidakseimbangan tegangan.

Namun demikian, kenaikan nilai kedua urutan tersebut akan mengganggu operasi motor. Tegangan urutan negatif dan positif dapat dihitung dengan mempergunakan metode komponen simetris.

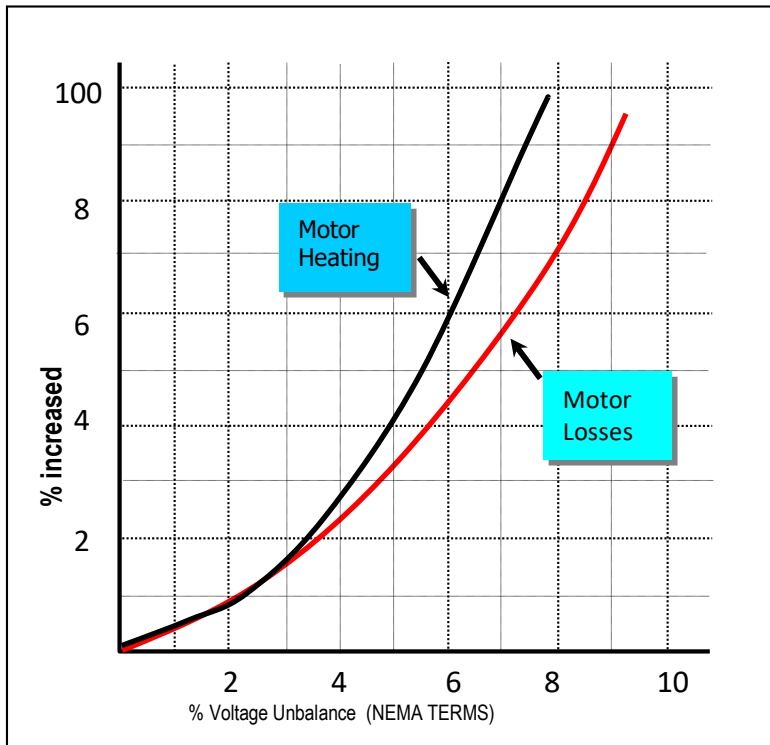
Adanya urutan negatif pada terminal motor 3 fasa menghasilkan fluks yang berputar berlawanan dengan fluks yang dihasilkan oleh tegangan urutan positif. Jadi putaran sinkron, tegangan dan arus diinduksikan pada rotor dua kali frekuensi saluran. Timbulnya urutan negatif dapat mempengaruhi torsi, rugi tembaga stator dan rotor, rugi besi rotor dan panas lebih pada motor.

Pengaruh Tegangan Tak Seimbang Terhadap Arus dan Rugi-rugi pada Motor

Ketidakseimbangan tegangan dapat menyebabkan penambahan arus tak seimbang yang cukup tinggi. Besar arus tak seimbang bisa mencapai 6 sampai 10 kali dari ketidakseimbangan tegangan yang terjadi. Misalnya tegangan takseimbang 2,9% menyebabkan kenaikan arus hingga mencapai 20% (Gambar 4.1). Disamping itu ketidakseimbangan tegangan menimbulkan kenaikan temperatur dan rugi-rugi pada motor (Gambar 4.1).



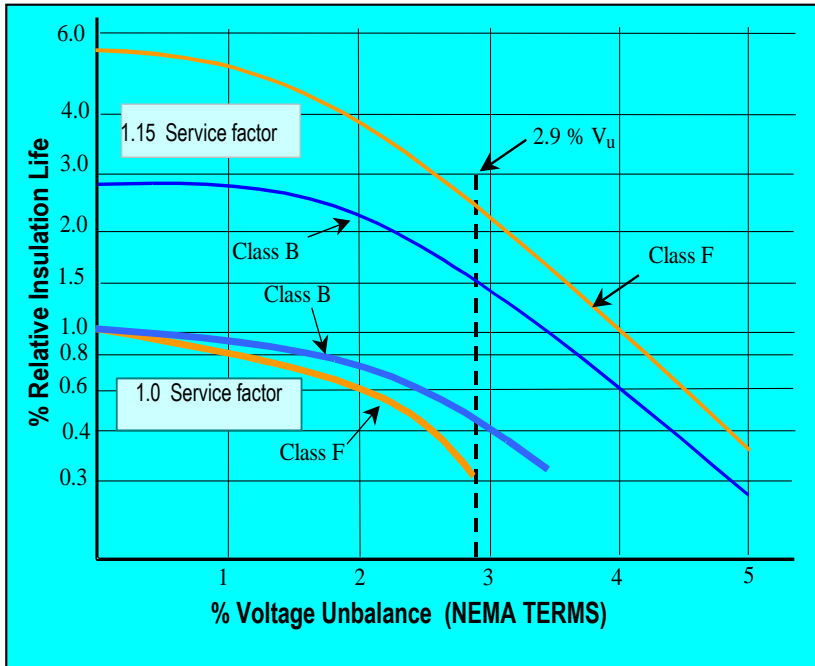
Gambar 4.1. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap kenaikan arus pada motor



Gambar 4.2. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap kenaikan rugi-rugi dan panas pada motor

Pengaruh Tegangan Tidakseimbang Terhadap Umur Isolasi Belitan Motor

Arus yang besar pada motor akan menyebabkan kelebihan panas, sehingga memperpendek umur isolasi motor. Pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap umur isolasi relatif motor disajikan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap umur isolasi motor

Kurva tersebut memperlihatkan pengaruh ketidakseimbangan tegangan terhadap umur isolasi relatif motor pada beban penuh, dengan isolasi kelas B dan F untuk Service Factor (SF) masing-masing 1,0 dan 1,15. Sebagai contoh pada ketidakseimbangan tegangan 2,9% akan menyebabkan kenaikan panas sebesar 17% (seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3). Dengan memperbaiki SF menjadi 1,15, maka umur isolasi relatif motor untuk jenis isolasi kelas F dapat dinaikkan menjadi 2,5%, dan isolasi kelas B naik menjadi 1,5%.

Motor yang bekerja pada tegangan normal (0% unbalance voltage) dengan SF 1,0 akan memiliki umur isolasi relatif sama

untuk SF 1,15 yang bekerja pada tegangan tidak seimbang sekitar 3,5% hingga 4%. Pada kurva untuk SF 1,0 motor, diperlihatkan bahwa terjadi penurunan drastis umur isolasi relatif motor bila terjadi tegangan tidak seimbang melebihi 2%. Untuk mempertahankan umur isolasi motor pada tegangan tidak seimbangan dapat dilakukan dengan meningkatkan pemeliharaan yang baik. Efisiensi motor dapat menurunkan secara tajam dengan naiknya tegangan tak seimbang pada sistem. Disamping itu dapat menimbulkan terjadinya vibrasi elektro-mekanik dan kerusakan pada bantalan motor. Vibrasi yang hebat terutama terjadi pada motor kecepatan tinggi misalnya 3600 rpm.

Dari penyajian di atas, terlihat bahwa ketidakseimbangan tegangan dapat menyebabkan kerusakan secara dini pada belitan motor, sehingga memperpendek umur motor. Disamping itu dapat menurunkan efisiensi motor karena panas yang berlebih, dengan demikian terjadi pemborosan energi, sehingga pada akhirnya menyebabkan bertambah besar biaya secara keseluruhan. Pemeliharaan yang baik dan tepat dapat memperpanjang umur motor.

Konsep Dasar Penerapan Logika Samar sebagai Kendali dan Pengaman Sistem

Logika samar menggolongkan objek pembicaraan dalam suatu kelompok yang tidak pasti yang disebut himpunan samar. Karena itu himpunan samar dinyatakan sebagai suatu kelas dari objek-objek dengan tingkat keanggotaan yang berkesinambungan. Suatu himpunan samar dikarakterisasi dengan fungsi keanggotaannya yang ditunjukkan sebagai objek pada jangkauan nilai antara nol sampai dengan satu. Dengan demikian

himpunan samar dapat didefinisikan secara matematis. Definisi menunjukkan suatu nilai yang merepresentasikan derajat keanggotaan pada setiap individu dalam *universe of discourse*.

Himpunan samar dituliskan sebagai pasangan berurutan yaitu elemen pertama menunjukkan nama dan elemen kedua menunjukkan nilai keanggotaannya. Misalkan untuk menyatakan panas suatu benda yang dapat berada antara 50 sampai dengan 90 °C maka secara himpunan samar ditulis $\bar{A} = \text{PANAS}$, dan dirumuskan dalam pernyataan matematis sebagai berikut :

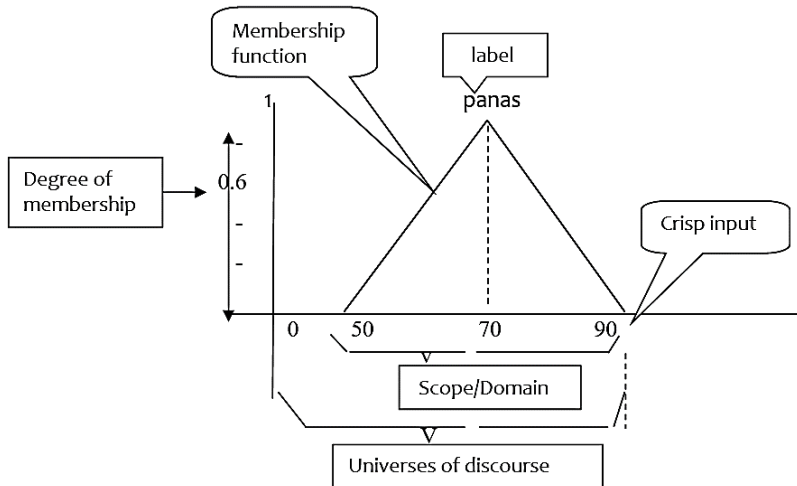
$$\bar{A} = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$

Dengan derajat keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{jika } x \leq 50 \\ \frac{x-50}{20} & ; \text{jika } 50 \leq x \leq 70 \\ \frac{90-x}{20} & ; \text{jika } 70 \leq x \leq 90 \end{cases}$$

Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik input data ke dalam derajat keanggotaannya.



Gambar 4.4 Kurva himpunan samar

Pada gambar 4.4 dapat dilihat istilah yang digunakan dalam himpunan samar dan keterangannya adalah sebagai berikut.

1) Degree of membership

Fungsi dari *degree of membership* ini adalah untuk memberikan bobot pada suatu input yang telah kita berikan sehingga input tadi dapat dinyatakan dengan nilai. Misalnya suhu adalah dingin, dengan adanya *degree of membership* maka suhu dingin tersebut dapat mempunyai suatu nilai misalnya 0,5. Batas dari *degree of membership* adalah 0 – 1.

2) cope / Domain

Merupakan suatu batas dari kumpulan input tertentu. Misalnya suhu dingin adalah dari 10 – 50 derajat, sangat cepat adalah dari 200 – 500 rpm.

3) Label

Adalah kata-kata untuk memberikan suatu keterangan pada Scope / Domain. Contohnya: panas, dingin, cepat, sangat cepat, dll.

4) Membership Function

Suatu bentuk bangun yang merepresentasikan suatu batas dari Scope / domain.

5) Crisp Input

Nilai input analog yang kita berikan untuk mencari degree of membership.

6) Universe of discourse

Batas input yang telah kita berikan dalam merancang suatu samar sistem. Batas ini berbeda dengan batas scope / domain. Universe of discourse adalah batas semua input yang akan diberikan, sedangkan scope / domain adalah suatu batas yang menentukan bahwa input tersebut dinyatakan panas, dingin, cepat, dll.

Aplikasi-aplikasi yang menggunakan sistem logika samar sering dianggap atau dinamakan sebagai pengendali samar (*fuzzy control*). Padahal disamping pengendali samar terdapat bermacam-macam teori yang digunakan pada aplikasi-aplikasi samar seperti klasifikasi samar (*fuzzy classification*) dan diagnosis samar (*fuzzy diagnosis*).

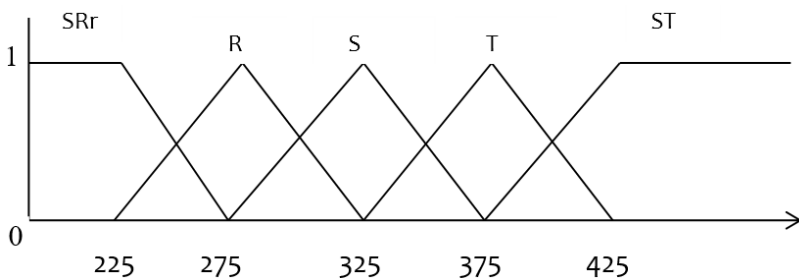
Sistem diagnosis samar dapat digolongkan pada sistem pakar samar. Sistem pakar samar adalah sistem pakar yang menggunakan notasi samar pada aturan-aturan dan proses inferensi (logika keputusan). Salah satu kelebihan sistem pakar samar dibandingkan sistem pakar konvensional adalah jumlah aturan lebih sedikit, sehingga sistem lebih transparan untuk dianalisa. Kekurangannya adalah kehandalan sistem sangat tergantung pada baik buruknya proses pengumpulan aturan, seperti prosedur pertanyaan dan komponen-komponen kuisioner, serta sering terjadi kesulitan untuk menyimpulkan suatu pernyataan.

Bidang aplikasi sistem diagnosis ini biasanya suatu proses yang besar dan kompleks, sehingga sangat sulit dianalisa menggunakan algoritma eksak dan dimodelkan dengan model matematika biasa. Pada permulaan persiapan sistem, jumlah aturan yang digunakan ini biasanya sangat banyak. Namun pada tahap akhir, jumlah akan lebih sedikit dan mudah dibaca. Ini merupakan sifat sistem pakar samar, seperti yang dikatakan oleh Zadeh, bahwa sistem pakar samar akan menggunakan aturan-aturan yang lebih sedikit dibandingkan sistem pakar konvensional sehingga mudah dibaca dan membantu menghindarkan inkonsistensi dan inkomplit sistem pengendali.

Yang perlu diperhatikan pada sistem diagnostik ini adalah tidak berlakunya proses defuzzifikasi, karena sistem ini hanya menghasilkan sifat keluaran berupa aproksimasi linguistik yang merupakan suatu pernyataan atau jawaban yang mudah dipahami.

Pada sistem pakar diagnosa sistem pakar motor induksi tiga fasa digunakan metode Tsukamoto yakni sistem inferensi samar didasarkan pada konsep penalaran. Pada metode penalaran nilai crisp pada daerah konsekuen dapat diperoleh secara langsung berdasarkan perhitungan melalui himpunan samar. Di bawah ini adalah besaran tegangan sistem dinyatakan dalam beberapa himpunan samar sebagai berikut:

Tegangan



1. Himpunan tegangan sangat rendah (SR)

$$\mu_{SR}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 225 \\ \frac{275-x}{50} & ; 225 \leq x \leq 275 \\ 0 & ; x \geq 275 \end{cases}$$

2. Himpunan tegangan rendah (R)

$$\mu_R(x) = \begin{cases} \frac{x-225}{50} & ; 225 \leq x \leq 275 \\ \frac{325-x}{50} & ; 275 \leq x \leq 325 \\ 0 & ; x \geq 325 \end{cases}$$

3. Himpunan tegangan sedang (S)

$$\mu_S(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 275 \\ \frac{x-275}{50} & ; 275 \leq x \leq 325 \\ \frac{375-x}{50} & ; 325 \leq x \leq 375 \end{cases}$$

4. Himpunan tegangan tinggi (T)

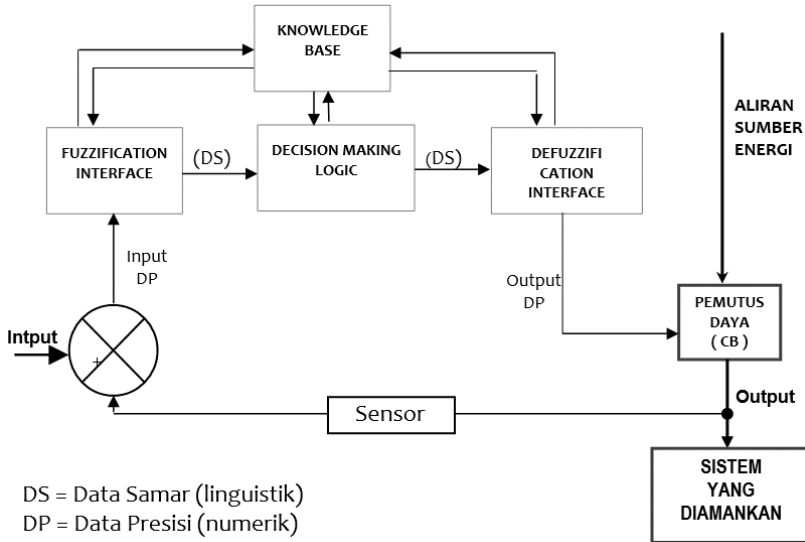
$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 325 \\ \frac{x-325}{50} & ; 325 \leq x \leq 375 \\ \frac{425-x}{50} & ; 375 \leq x \leq 425 \end{cases}$$

5. Himpunan tegangan sangat tinggi (ST)

$$\mu_{ST}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 375 \\ \frac{x-375}{50} & ; 375 \leq x \leq 425 \\ 1 & ; x \geq 425 \end{cases}$$

Pernyataan besaran tegangan sistem yang dinyatakan diatas memperlihatkan besar derajat keanggotaan setiap nilai tegangan dalam kurva fungsi keanggotaan himpunan samar.

Suatu sistem proteksi berdasarkan logika samar dapat dinyatakan sebagai sistem kendali kalang tertutup (*loop*) seperti yang terlihat pada gambar 4.5 di bawah ini;



Gambar 4.5 Diagram blok sistem pengamanan logika samar

Struktur dasar dari kendali logika samar seperti yang terlihat pada gambar 4.5 di atas dengan elemen utamanya adalah blok fuzzifikasi (*fuzzification interface*), blok pengambilan keputusan (*decision making logic*), blok basis pengetahuan (*knowledge base*), dan blok defuzzifikasi (*defuzzification interface*). Berdasarkan struktur di atas, maka berbagai tipe monitoring, kendali dan proteksi logika samar dapat dibangun tergantung dari sasaran perencanaan.

BAB V

FUZZIFIKASI DAN MIKROKONTOLER

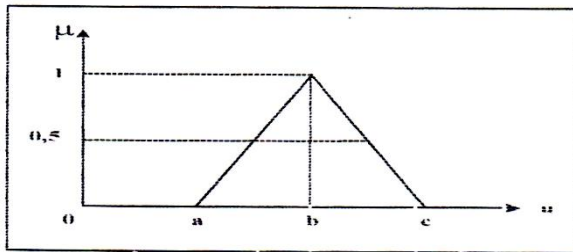
AVR AT MEGA 32

Fuzzifikasi (*Fuzzification*) merupakan proses untuk memetakan hasil pengamatan sinyal masukan sistem ke himpunan-himpunan samar dengan menerapkan basis pengetahuan yang tepat. Dalam proteksi sistem, data hasil observasi dari *range* masukan tepat (*crisp*) ke nilai-nilai samar yang bersesuaian untuk variabel-variabel masukan sistem. Data hasil pemetaan selanjutnya dikonversikan ke bagian-bagian linguistik (*linguistic terms*) yang sesuai dengan nama tiap himpunan samar yang terdefinisi untuk variabel-variabel masukan sistem.

Proses pemetaan ini dapat diekspresikan dengan menggunakan fungsi-fungsi standar himpunan samar sebagai berikut :

a. Fungsi Segitiga

Fungsi segitiga didefinisikan sebagai berikut :

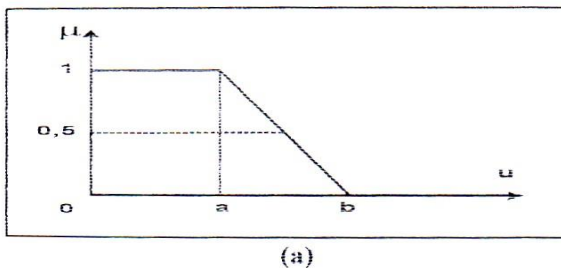


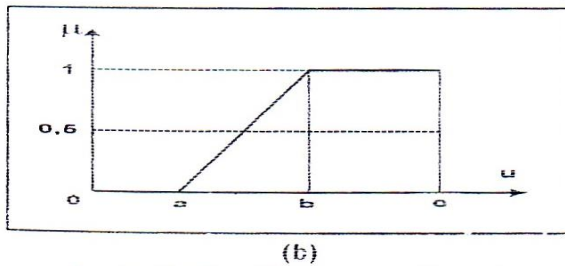
Gambar 5.1 Fungsi Keanggotaan Segitiga

$$\begin{aligned}
 T(\mu : a, b, c) &= 0, \text{ untuk } \mu < a \\
 &= (\mu - a) / (b - a), \text{ untuk } a \leq \mu \leq b \\
 &= (c - \mu) / (c - b), \text{ untuk } b \leq \mu \leq c \\
 &= 0, \text{ untuk } \mu > c
 \end{aligned}$$

b. Fungsi Trapesium

Fungsi trapesium dapat memiliki dua bentuk seperti gambar 5.2a & 2.16b, yang didefinisikan sebagai berikut :





Gambar 5.2 Fungsi Keanggotaan Trapesium

untuk gambar 5.2a didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tr}(\mu : a, b, c) &= 1 \text{ untuk } 0 \leq \mu \leq a \\ &= 0 \text{ untuk } \mu > b \\ &= (b - \mu) / (b - a) \text{ untuk } a \leq \mu \leq b \end{aligned}$$

untuk gambar 5.2b didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tr}(\mu : a, b, c) &= 0 \text{ untuk } 0 \leq \mu \leq a \\ &= (\mu - a) / (b - a) \text{ untuk } a \leq \mu \leq b \\ &= 1 \text{ untuk } b \leq \mu \leq c \end{aligned}$$

Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Bagaimana *knowledge base* dapat dibentuk pada kondisi uji coba dengan menggunakan teknik-teknik pemodelan samar (*fuzzy modeling techniques*). *Knowledge base* terdiri dari *database* dan *rule base*. *Database* menyediakan definisi-definisi parameter samar yang diperlukan sebagai himpunan-himpunan semesta dari tiap variabel. *Rule base* terdiri dari aturan-aturan-aturan kendali samar yang bertujuan untuk mencapai sasaran proteksi sistem.

Mengkonstruksikan *database* termasuk mendefinisikan himpunan sementara untuk tiap variabel, menentukan jumlah

himpunan samar dan merancang fungsi-fungsi keanggotaan. Himpunan-himpunan samar yang terdefinisi untuk variabel-variabel masukan pada bagian anteseden dari aturan-aturan kendali samar membentuk sebuah ruang masukan samar (*fuzzy input space*) berkenaan dengan himpunan semesta masukan. Sedangkan yang terdefinisi pada bagian konsekuen dari aturan kendali samar membentuk ruang keluaran samar (*fuzzy output space*). Himpunan-himpunan samar ini membagi ruang masukan dan keluaran menjadi bagian nilai-nilai samar yang diizinkan. Jumlah dari himpunan-himpunan samar yang menentukan ketelitian kendali yang terdefinisi untuk tiap variabel adalah faktor utama yang dapat dibentuk. Walaupun pembagian yang tepat dari ruang-ruang masukan dan keluaran dapat ditentukan dengan metode seperti *fuzzy clustering*, tetapi prosedur coba-coba (*trial and error*) mungkin dibutuhkan untuk mendapatkan partisi yang optimal dari suatu perencanaan.

Rule base dari sistem pengaman logika samar merupakan kumpulan dari sejumlah aturan kendali samar yang berdasarkan pada tujuan pengamanan dan kebijaksanaan kendali yang diberikan oleh para ahli. Aturan-aturan pengaman samar digerakkan secara paralel dan mencapai tingkat-tingkat penyesuaian berbeda antara antesenden-antesenden dengan situasi sistem saat ini. Dalam sistem pengaman samar aturan pengamanannya, biasanya dalam bentuk aturan IF-THEN. Maka untuk sistem MISO, dasar aturan proteksi samar dapat dinotasikan sebagai berikut :

Aturan 1: IF x_1 adalah A_{11} AND..AND x_m adalah A_{1m} THEN y adalah B_1

Aturan 2: IF x_1 adalah A_{21} AND..AND x_m adalah A_{2m} THEN y adalah B_2

Aturan n : IF x_1 adalah A_{n1} AND..AND x_m adalah A_{2m} THEN y adalah B_2

Pengambilan Keputusan (*Decision Making Logic*)

Ada beberapa cara dimana nilai-nilai masukan hasil observasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi aturan mana yang seharusnya digunakan untuk menyimpulkan tindakan proteksi samar yang ada yaitu metode CRI (*Compositional Rule of Inference*) dan metode AAR (*Approximate Analogical Reasoning*) maka yang paling sering digunakan dewasa ini adalah metode inferensi yang termasuk dalam metode PVCRI (*Point Value Compositional Rule of Inference*) dari metode CRI yaitu :

1. Metode inferensi max-min
2. Metode inferensi max-dot

Proses inferensi atau pengambilan keputusan dikenal dengan pertimbangan pendekatan (*Approximate reasoning*). Karena kendali proses bersifat alami, maka sering data masukan bersifat tepat.

Fuzzifikasi memperlakukan data ini menjadi nilai-nilai tunggal samar yang kemudian dilanjutkan dengan metode interfensi samar max-min atau max-dot.

Jika diasumsikan bahwa kita mempunyai aturan kendali samar sebanyak dua buah :

Aturan 1 : IF x adalah A_1 AND y adalah B_1 THEN z adalah C_1

Aturan 2 : IF x adalah A_2 AND y adalah B_2 THEN z adalah C_2

Jika *fire strength* dari tiap aturan ditentukan oleh α_1 dan α_2 maka *fire strength* untuk masukan x_0 , dan y_0 adalah :

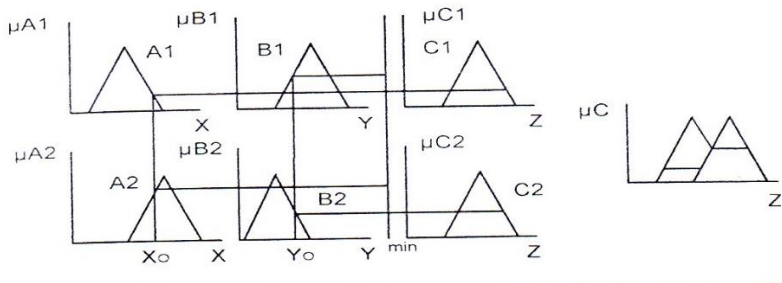
$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \cap \mu_{B_1}(y_0)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \cap \mu_{B_2}(y_0)$$

Pada pertimbangan samar max-min keanggotaan dari konsekuen C diberikan oleh rumus :

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \cap \mu_{C_1}(w)) \cup (\alpha_2 \cap \mu_{C_2}(w))$$

Gambar 5.3 di bawah ini menunjukkan proses interfensi max-min untuk nilai-nilai masukan tetap x_0 dan y_0 yang diberlakukan sebagai nilai-nilai tunggal samar.



Gambar 5.3 Proses Interfensi Max-Min

Pertimbangan samar max-dot dengan keanggotaan dari konsekuen C diberikan oleh rumus:

$$\mu_c(w) = \alpha_1 \bullet \mu_{C_1}(w) \cup (\alpha_2 \bullet \mu_{C_2}(w))$$

Strategi-Strategi Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu proses memetakan nilai keluaran samar ke nilai keluaran non-samar (numerik). Strategi defuzzifikasi dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$Y_0 = \text{defuzzifer}(y)$$

dengan : - y adalah tindakan sistem pengaman

- *yo* adalah tindakan pengaman dengan variabel numerik
- *defuzzifer* adalah operator defuzzifikasi

Ada beberapa metode defuzzifikasi yang sering digunakan antara lain:

- *Metode Mean Of Maksimum (MOM)*

Misalkan sebuah sistem MISO dengan jumlah aturan dinotasikan oleh n . Mula-mula ditentukan bagian linguistik yang memiliki derajat fungsi keanggotaan maksimum dari himpunan samar variabel keluaran hasil proses fuzzifikasi dan inferensi, misalnya A . Kemudian nilai tepat dari variabel keluaran dapat diperoleh dengan

$$W = \max (A)$$

$\max (A)$ menunjukkan nilai dari A yang merupakan bagian variabel linguistik yang bersangkutan, pada saat tinggi A adalah maksimum, misalnya 1. Jadi misalnya sebuah variabel keluaran dengan masing-masing bagian linguistik memiliki derajat fungsi keanggotaan : $PM = 0,26$; $PB = 0,25$; dan yang lain = 0, maka dalam hal ini A adalah PM sehingga $W = \max (A)$, yaitu nilai keanggotaan PM saat mencapai tinggi maksimum 1.

- *Metode Center of Maximum*

Misalkan sebuah sistem samar MISO dengan jumlah aturan dinotasikan oleh n dan tinggi maksimum (puncak) nilai puncak dari fungsi dari nilai keanggotaan maksimum dari sebuah himpunan samar yang terdefinisi untuk aturan ke I kendali keluaran dinotasikan oleh nilai H_i . Sedangkan nilai kendali tepat maksimum yang bersesuaian dengan himpunan semesta pada variabel keluaran dinotasikan oleh W_i , dan misalkan *fire strength* dari tiap aturan dinotasikan α_i maka nilai

kendali tepat W yang didefuzzifikasikan dalam metode COM diberikan oleh :

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i W_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i}$$

Karena nilai tepat (crisp value) W_i merupakan nilai dari bagian linguistik dari variabel keluaran yang memiliki fungsi keanggotaan mencapai tinggi maksimum H_i (H_i sama dengan satu) fungsi keanggotaan yang simetris dibukukan untuk bagian kensekuan pada aturan himpunan samar.

- Metode Center of Gravity/Center of Area (COG/COA)
Metode COG/COA menghasilkan pusat gravitasi dari distribusi yang mungkin dari tindakan kendali. Contoh yang dapat diambil dari sebuah sistem samar MISO. Misalnya aturan jumlah aturan dinotasikan oleh n , momen (sekitar aksis o sepanjang himpunan semesta) dari fungsi keanggotaan dari sebuah himpunan samar yang terdefenisi untuk aturan ke- i dinotasikan oleh M_i , kendali keluaran dinotasikan oleh α_i , maka nilai kendali tepat W yang didefuzzifikasi dengan metode COG/COA diberikan oleh :

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i M_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i A_i}$$

Mikrokontroler AVR AT Mega 32

Perkembangan teknologi telah maju dengan pesat dalam perkembangan dunia elektronika, khususnya dunia mikroelektronika. Penemuan silicon menyebabkan bidang ini mampu memberikan sumbangan yang amat berharga bagi

perkembangan teknologi modern. Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikroelektronika telah menjadi suatu teknologi standar bagi para desainer sistem elektronika masa kini. Dengan perkembangan terakhir, yaitu generasi AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*), para desainer sistem elektronika telah diberi suatu teknologi yang memiliki kapabilitas yang amat maju, tetapi dengan biaya ekonomis yang cukup minimal.

Ada 2 jenis mikrokontroler yang berkembang saat ini, type CISC dan RISC. Hal ini didasarkan pada arsitektur processor dan set instruksinya. Sebagai contoh MCS51(AT89S51/52) merupakan tipe CISC yang memerlukan 12 siklus clock untuk melaksanakan satu siklus instruksi. Tipe AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) hanya perlu 1 siklus saja, sehingga jelas lebih cepat waktu eksekusinya. Mikrokontroler AVR dikelompokkan menjadi 4 group : keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, keluarga Attiny dan keluarga AT89RFxx. Tidak ada perbedaan mendasar pada keempatnya, baik arsitektur maupun instruksinya. Kapasitas memori, peripheral dan fungsi adalah yang menjadikan masing-masing keluarga AVR memiliki keunikan tersendiri.

Salah satu perusahaan mikroelektronika, ATMEL telah memproduksi mikrokontroler AVR yaitu ATmega 32.

AVR AT Mega 32 memiliki bagian-bagian seagai berikut :

1. Port I/O 32 jalur (Port A, Port B, Port C, Port D masing-masing 8 bit)
2. ADC internal 10 bit 8 chanel
3. 3 buah timer / counter
4. Osilator internal 1 MHz
5. Memory Flash sebesar 8 kb dengan kemampuan Read while write

6. EEPROM 512 byte
7. SRAM 512 byte
8. Interupsi Eksternal dan Internal
9. Port USART untuk komunikasi serial.
10. CPU yang terdiri atas 32 buah register
11. Port antarmuka SPI
12. Antarmuka komparator Analog

AVR AT Mega 32 memiliki Fitur-fitur sebagai berikut :

1. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis Risc dengan kecepatan maksimal 16 Mhz
2. Kapabilitas memori flash 8 kb, SRAM sebesar 512 byte, dan EEPROM (Electrically Erasable Read Only Memory) sebesar 512 byte.
3. ADC internal dengan fidelitas 10 bit sebanyak 8 channel
4. Portal komunikasi serial (USART) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps.
5. Enam pilihan mode sleep menghemat penggunaan daya listrik.

AVR AT Mega 32 memiliki konfigurasi Pin sebagai berikut.

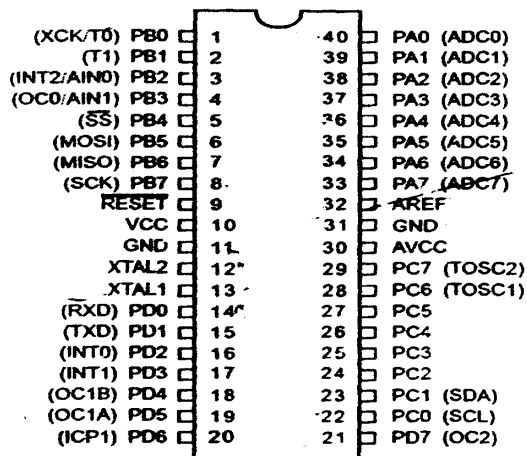
Konfigurasi pin AVR AT Mega 32 bisa dilihat pada gambar 5.4 berikut. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin AVR AT Mega 32 sebagai berikut :

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya
2. GND merupakan pin *ground*.
3. Port A (PA0.. PA7) merupakan pin I/O dua arah dan pin masukan ADC.
4. Port C (PC0..PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu Timer / Counter, komparator analog,

dan SPI.

5. Port B (PB0..PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TW1, komparator analog, dan *Timer Oscillator*.
6. Port D (PD0..PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin khusus, yaitu komparator analog interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
7. Reset merupakan pin yang digunakan untuk me- reset mikrokontroler.
8. XTAL 1 dan XTAL 2 merupakan pin masukan *clock* eksternal.
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC

Mikrokontroler tipe ATmega32 tergolong relative murah, meskipun dari segi harga nominal lebih mahal dibanding dengan AT89S51/52 misalnya, akan tetapi adanya fitur tambahan seperti ADC 10 bit, PWM, kemampuan timer dan kemampuan lain yang dimilikinya menjadikan mikrokontroler ini terlihat ‘canggih’



Gambar. 5.4 Konfigurasi pin AVR ATmega32

AT Mega 32 mempunyai ruang memori data dan memori program yang terpisah. Memori data terdiri 3 bagian :

- 32 buah General Purpose Register (GPR) / register umum
- 64 buah register I/O
- 512 byte SRAM Internal

Memori program sebesar 4 kbyte x 16 bit dalam Flas PEROM dengan alamat 000H-FFFFH. Mikrokontroler berbeda dengan IC pada proses penggunaannya, karena begitu selesai diproduksi IC umumnya sudah dapat langsung digunakan, tetapi tidak demikian halnya dengan mikrokontroler yang harus dibuatkan program terlebih dahulu untuk diisikan kedalamnya agar dapat menjalankan tugasnya sesuai programnya. Memprogram mikrokontroler terdiri dari dua tahapan, yaitu pertama menulis program berupa instruksi-instruksi yang akan dimasukkan kedalam mikrokontroler pada editor teks, kemudian dikompilasi menggunakan translator yaitu software Compiler atau Assembler. Kedua melakukan proses pengiriman (*transfer kode*) file eksekusi (.HEX) kedalam mikrokontroler disebut *download* menggunakan suatu programmer mikrokontroler. Program yang ditulis dengan bahasa C dalam **Atmega 32** dapat dikompilasi dengan Compiler C antara lain *Hi-Tech C Compiler*, *CCS Compiler* dan *MPLAB C Compiler*. File eksekusi merupakan program hasil kompilasi yang berisi runtun kode "0" dan "1" dan dinyatakan dalam bilangan heksadesimal, itu sebabnya file ini diberi ekstensi .HEX. Runtun kode inilah yang di *down load* dan dipahami oleh mikrokontroler.

BAB VI

RANCANGAN RISET SISTEM PENGAMANAN MOTOR DENGAN MIKROKONTROLER

Terdapat sejumlah sasaran penting terkait dengan penulisan karya ilmiah dalam bentuk buku referensi ini, yaitu sebagai berikut:

- 1) Merancang perangkat lunak sistem pengaman motor induksi berbasis logika samar untuk mendeteksi multi gangguan yang sering terjadi di Industri-industri dan pada sistem kelistrikan, (mengembangkan software dari hasil penelitian Fundamental yang diperoleh tahun 2008).
- 2) Membuat Prototipe perangkat keras sistem pengaman motor induksi tiga fasa sesuai prinsip-prinsip perangkat lunak yang telah dirancang. menggunakan AVR Mikrokontroler,
- 3) Menyesuaikan pengoperasian Motor Induksi tiga fasa pada suplai tegangan tak seimbang agar tidak menimbulkan kerusakan pada motornya.

Lebih dari sekadar mencapai tujuan, sasaran dan manfaat jangka panjang berupa manfaat yang dapat dipetik dari penulisan

karya ilmiah buku ini adalah menjawab sebagian kecil dari tantangan penelitian global (menghadapi tantangan era pasar bebas dalam industri) untuk mewujudkan suatu sistem pengaman yang berbasis logika samar dengan menggunakan AVR Mikrokontroler yang dapat mendeteksi multi gangguan yang selama ini tidak ditemukan dilapangan dan belum tersedia dipasaran. Hal ini sejalan dengan instruksi pemerintah yang santer ditayangkan pada berbagai media untuk menekan kost yang besar terkait dengan penggunaan mesin-mesin induksi yang hemat energi dan andal, termasuk sistem pengaman yang digunakan.

Arah penelitian ini dititik beratkan pada bagaimana menghasilkan Prototipe sistem pengaman berbasis logika samar dengan menggunakan AVR Mikrokontroler untuk mengamankan motor induksi tiga fasa terhadap tegangan tidak seimbang dan terhadap kenaikan tempratur akibat pembebanan lebih pada mesin induksi. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk mengamankan semua motor listrik dan pada sistem tenaga listrik yang lebih luas dan lebih bervariasi tanpa harus merubah arsitektur jaringannya.

Strategi pelaksanaan, pengkajian dan pengembangan karya ilmiah ini dibuat untuk mencapai tujuan penelitian dapat dinyatakan secara sistematis sebagai berikut:

- 1) Variabel bebas yang sangat berpengaruh dalam penelitian ini adalah ketidakseimbangan tegangan suplai pada sistem tiga fasa dan kapasitas pembebanan motor induksi tiga fasa.
- 2) Variabel kontrolnya adalah panas yang timbul dalam belitan motor yang akan merusak isolasi belitan motor. Oleh karena itu, alat ukur yang paling menentukan dalam penelitian ini antara lain alat ukur tegangan, temperatur, waktu dan alat ukur kapasitas beban mekanik.

- 3) Jika pengukuran variabel-variabel tersebut di atas berhasil dengan baik maka peluang keberhasilan dalam penelitian semakin tinggi. Sehingga awal dari rancangan penelitian ini dimulai dengan pengamatan karakteristik variabel bebas maupun variabel kontrolnya secara laboratorium. Kemudian dilakukan rancangan perangkat keras sistem pengaman berdasarkan rancangan perangkat lunaknya. Bagian akhir dari penelitian ini dilakukan uji laboratorium terhadap sistem pengaman hasil rancangan.

Keterbatasan peralatan pada kajian dan pengembangan ini ditanggulangi dengan menggunakan beberapa laboratorium di Makassar, antara lain:

- Laboratorium BLPT(Balai Latihan Pendidikan Teknik) Provinsi Sulawesi Selatan di Makassar, dilakukan pengamatan terhadap pengaruh pembebanan motor induksi tiga fasa pada suplai tegangan tak seimbang terhadap arus pengasutan dan panas yang timbul pada belitan jangkar.
- Laboratorium Kontrol Teknik Elektro Universitas Negeri Makassar, dilakukan pembuatan prototipe sistem pengaman dan *down load* program pengaman berbasis logika samar ke dalam Mikrokontroler AVR AT Mega 32.
- Laboratorium Kontrol dan Pengukuran pada Jurusan Teknik Elektro BLPT Makassar, dilakukan pengujian prototipe alat yang telah dibuat, terhadap tegangan tak seimbang dan pengaruh Temperatur, dengan beban motor induksi tiga fasa.
- Laboratorium Mikroprosesor Politeknik Negeri Ujung Pandang dilakukan penyempurnaan prototipe dengan menggunakan Mikrokontroler AVR AT Mega 32.

Bahan dan alat yang digunakan dalam mengembangkan karya ilmiah ini terdiri dari perangkat yang diteliti, perangkat

pengukuran, perangkat pemikir dan pembuat keputusan, serta perangkat pelaksana keputusan. Perangkat yang diteliti atau bahan penelitian adalah motor induksi tiga fasa yang dijalankan memutar beban yang bervariasi mulai dari tanpa beban (beban nol) hingga beban 125 persen dari kapasitasnya dan motornya disuplai dengan tegangan dari 3(tiga) unit regulator tegangan satu fasa yang membuat tegangan suplai tidak seimbang.

Perangkat pengukuran terdiri dari 3(tiga) unit voltmeter digital, 3(tiga) unit amperemeter digital, 1(satu) unit thermometer digital dan 1(satu) unit stopwatch digital. Perangkat pengukuran tersebut digunakan untuk membaca atau mengetahui keadaan motor induksi yang sedang diteliti dalam pengoperasiannya.

Perangkat pemikir dan pembuat keputusan terdiri dari perangkat keras mikrokontroler. Kemudian mikrokontroler tersebut diisi dengan perangkat lunak program yang ditulis dalam bahasa C++, dengan menerapkan prinsip logika samar.

Perangkat pelaksana keputusan terdiri dari 1(satu) set rangkaian analog digital converter serta 1(satu) set rangkaian kendali atau driver. Analog digital converter berfungsi mengambil atau memasukkan besaran variabel kedalam mikrokontroler. Selanjutnya perangkat lunak mempertimbangkan variabel tersebut dan memutuskan tindakan yang harus dilakukan. Kemudian keputusan tersebut dilaksanakan oleh rangkaian kendali atau driver kendali(relay) yang dihubungkan ke pemutus daya.

Lebih lanjut, pengembangan penelitian ini bertujuan membuat suatu sistem yang dapat ditambahkan pada setiap motor induksi tiga fasa agar berfungsi memonitoring kondisi, mengontrol dan menjaga motor induksi dari gangguan operasi yang dapat merusak, akibat ketidakseimbangan tegangan dan pengaruh

temperatur. Hal yang sangat berpengaruh untuk mencapai hal itu, adalah teknik pengumpulan data yang tepat, sehingga dapat memberikan informasi yang lengkap. Dengan informasi yang lengkap, maka dapat dirancang sistem pengaman yang tepat untuk penanganan informasi tersebut. Oleh karena itu, untuk memperoleh data yang aktual maka dilakukan secara bertahap. Pertama dengan menelusuri lewat literatur informasi yang berkaitan dengan perkembangan sistem pengaman motor induksi. Kedua dengan melakukan pengukuran langsung lewat percobaan laboratorium (lihat foto terlampir). Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel sehingga memudahkan menggali informasi yang terkandung dalam data tersebut secara maksimal.

Metode analisis adalah suatu pendekatan pemodelan dan perumusan sistem agar dapat diselesaikan dengan menerapkan teknik-teknik pemecahan yang tepat. Pilihan metode analisis yang digunakan pada tiap penelitian berpengaruh langsung pada tingkat ketelitian atau ketepatan hasil dari suatu penelitian. Hasil analisis yang diharapkan dalam penelitian ini adalah tingkat ketidakseimbangan tegangan yang masih memungkinkan atau mempertahankan beroperasinya motor induksi tiga fasa tanpa menimbulkan kerusakan. Masalahnya terletak pada kemampuan membedakan kondisi normal dan kondisi abnormal dalam setiap pengoperasian motor listrik. Selain saat timbulnya gangguan yang tidak dapat diprediksi dengan baik, juga jenis gangguannya yang bermacam-macam dengan karakteristik yang hampir serupa termasuk karakteristik kondisi peralihan yang normal. Karena itu perluasan matematika pasti (*exact*) menjadi matematika samar (*fuzzy*) dan dinyatakan secara teoritis bahwa dapat mengambil keputusan yang tepat meskipun dalam kondisi yang tumpang tindih atau samar, sangat menarik untuk diterapkan dalam penyelesaian masalah penelitian ini. Prinsip penerapannya adalah

memodelkan terlebih dahulu variabel variabel bebas maupun variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian, kemudian ditarik keputusan dengan menggunakan metode inferensi Max-min. Karena metode Max-min adalah salah satu metode pertimbangan logis (*reasoning inference*) yang berkembang dalam ilmu matematika samar yang telah populer dan banyak diterapkan sebagai pengambil keputusan (*decision making logic*), terutama pada kondisi yang tumpang tindih atau tidak jelas batas-batasnya. Selanjutnya dilakukan analisis data dengan menggunakan perangkat lunak dalam bahasa C++.

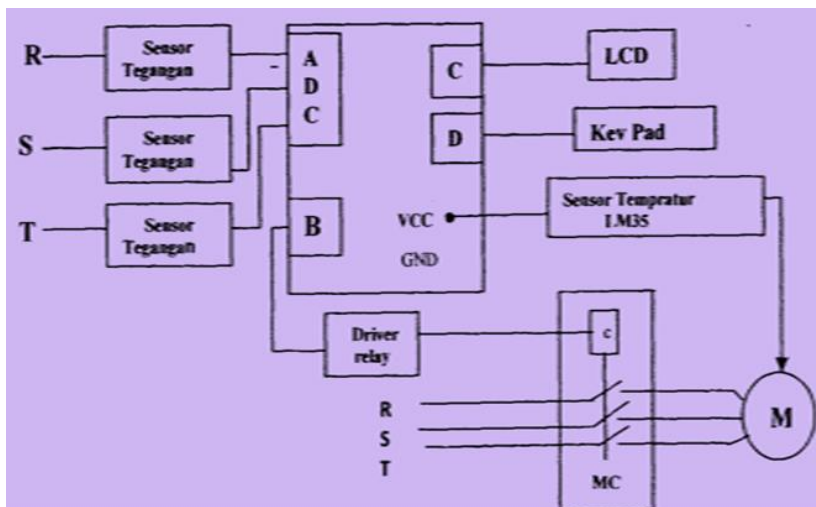
BAB VII

RANCANGAN DAN UJI COBA

SISTEM PENGAMANAN

Proses Pengukuran dan Rancangan Perangkat Keras Sistem Pengaman

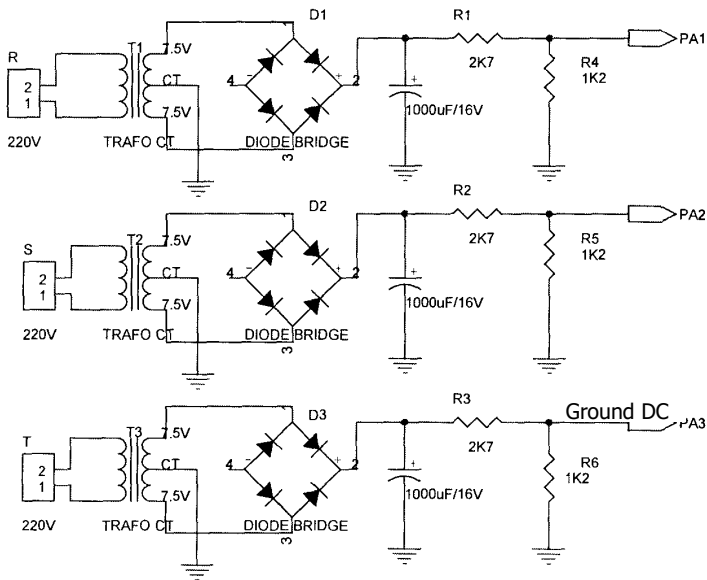
Proses pengambilan atau pengukuran data dari sistem masuk ke Mikrokontroler disebut cuplikan data. Gambar 5.1 di bawah ini memperlihatkan cara pencuplikan data dari sistem masuk kedalam mikroprosesor untuk diproses sesuai tujuan pengaman. Rangkaian ini bekerja terus menerus karena Mikroprosesor dalam hal ini adalah Mikrokontroler akan membaca data secara periodik dalam interval waktu tertentu pada setiap terminal (port) sinyal masukan ke Mikrokontroler. Sinyal yang diterima oleh mikrokontroler akan diproses sesuai dengan perintah perangkat lunak yang di-*down load* ke dalamnya.



Gambar 7.1 Blok Diagram Proses Pencuplikan data dari sistem

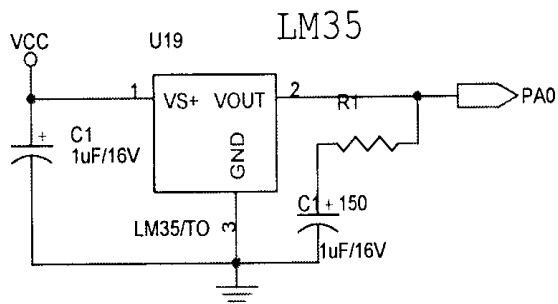
Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor atau pengukur tegangan yang dimaksudkan pada gambar 7.1 di atas terdiri dari komponen komponen seperti ditunjukkan pada rangkaian ekivalen gambar 7.2 di bawah ini. Dimana tegangan tiap fasa di-cuplik lewat transformator step down menjadi 7,5 volt bolak balik, kemudian disearahkan dan diturunkan menjadi 5 volt searah agar dapat masuk ke mikrokontroler.



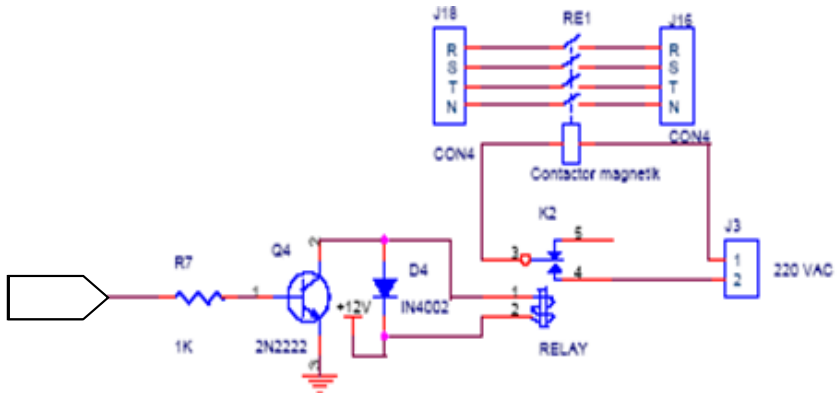
Gambar 7.2 Rangkaian ekivalen sistem sensor tegangan

Sementara sensor panas atau temperatur yang dimaksudkan dalam gambar 7.1 terdiri dari komponen-komponen yang ditunjukkan pada rangkaian ekivalen gambar 7.3 di bawah ini.



Gambar 7.3 Rangkaian ekivalen sistem sensor temperatur

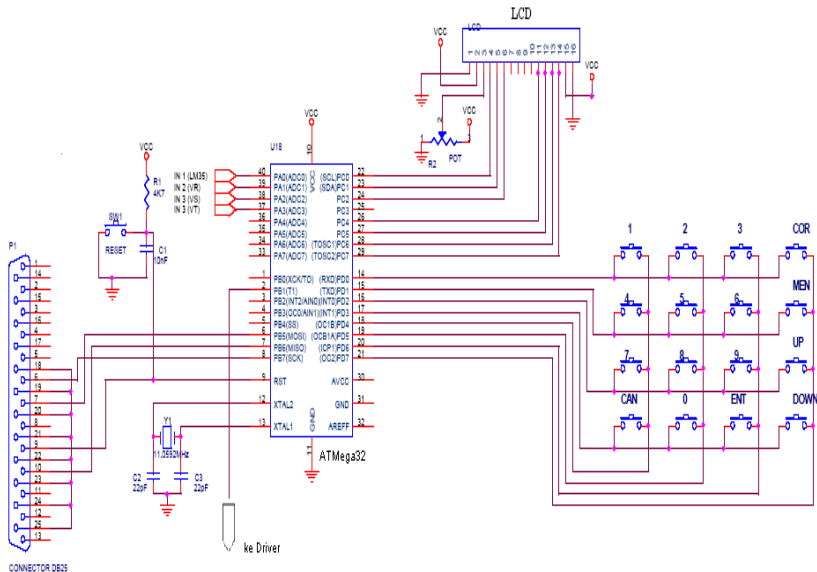
Aktuator atau penggerak kendali untuk menutup tidaknya pemutus daya yang menghubungkan motor dengan sumber tegangan pada gambar 7.1 di atas disebut driver terdiri dari komponen seperti ditunjukkan pada rangkaian ekivalen gambar 7.4 di bawah ini.



Gambar 7.4 Rangkaian ekivalen driver kendali

Rangkaian Utama Sistem Pengaman

Rangkaian utama sistem pengaman yang dibuat, terdiri dari komponen-komponen pembentuknya yang ditunjukkan dengan rangkaian ekivalen pada gambar 7.5 di bawah. Rangkaian tersebut menunjukkan bahwa ada 3 (tiga) besaran ukur utama yang digunakan dalam rancangan pengaman ini, yaitu besar tegangan tiap fasa, sementara temperatur atau suhu dari belitan adalah besaran turunan sebagai fungsi dari besar beban dan tingkat ketidakseimbangan tegangan.



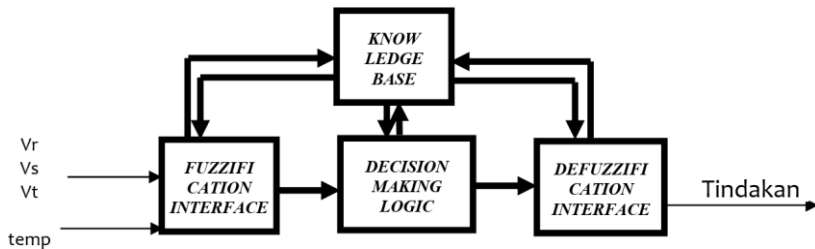
Gambar 7.5 Rangkaian Utama Sistem Pengaman

Proses Penyusunan Perangkat Lunak Sistem Pengaman

Untuk memudahkan dan mengarahkan penyusunan perangkat lunak yang dikehendaki dalam pembentukan sistem pengaman maka prosesnya dibagi dalam dua bagian. Yang pertama adalah penyusunan algoritma atau diagram alir, kemudian berdasarkan algoritma tersebut disusun program menggunakan salah satu bahasa pemrograman, dalam hal ini digunakan bahasa C++. Bahasa C adalah hasil pengembangan dari bahasa B, yang dikembangkan dan ditulis pertama kali oleh Brian W.Kernighan dan Denies M.Ricthie pada tahun 1972. Sementara bahasa B ditulis dan diperkenalkan oleh Ken Thompson pada tahun 1970.

Penyusunan Algoritma

Istilah algoritma diperkenalkan oleh Abu Ja'far Mohammed yang terkenal sebagai bapak Aljabar (tahun 790 - 840 S.M.) Algoritma tidak lain daripada langkah-langkah suatu proses, metode atau prosedur untuk mencapai suatu hasil. Se jauh ini tidak ada standirisasi tentang bagaimana menyusun algoritma. Tetapi secara prinsip dapat menggunakan kata-kata bahasa manusia, pseudokode atau bahkan diagram alir untuk mewujudkan suatu algoritma.



Gambar 5.6. Diagram blok fuzifikasi dan defuzzifikasi

Penerapan logika samar dimulai pada blok fuzifikasi (*fuzzification interface*) yaitu proses pemetaan data numerik yang presisi kedalam data linguistik yang samar. Hal itu dapat digambarkan dalam kurva derajat keanggotaan sebagai fungsi besaran numerik, dengan memperhitungkan rentang besar masukan yang diizinkan seperti ditunjukkan pada gambar 5.7. di bawah ini.

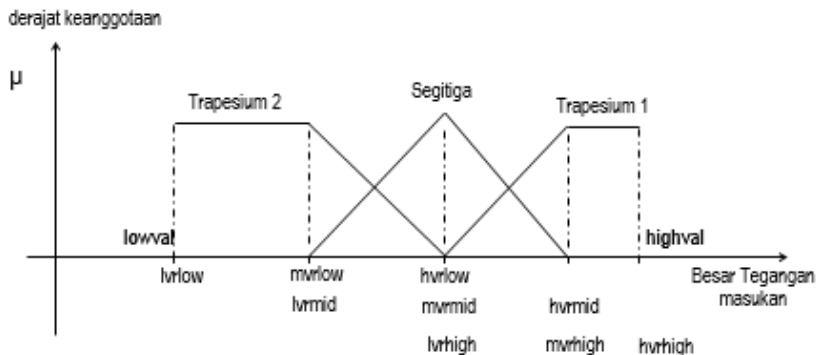
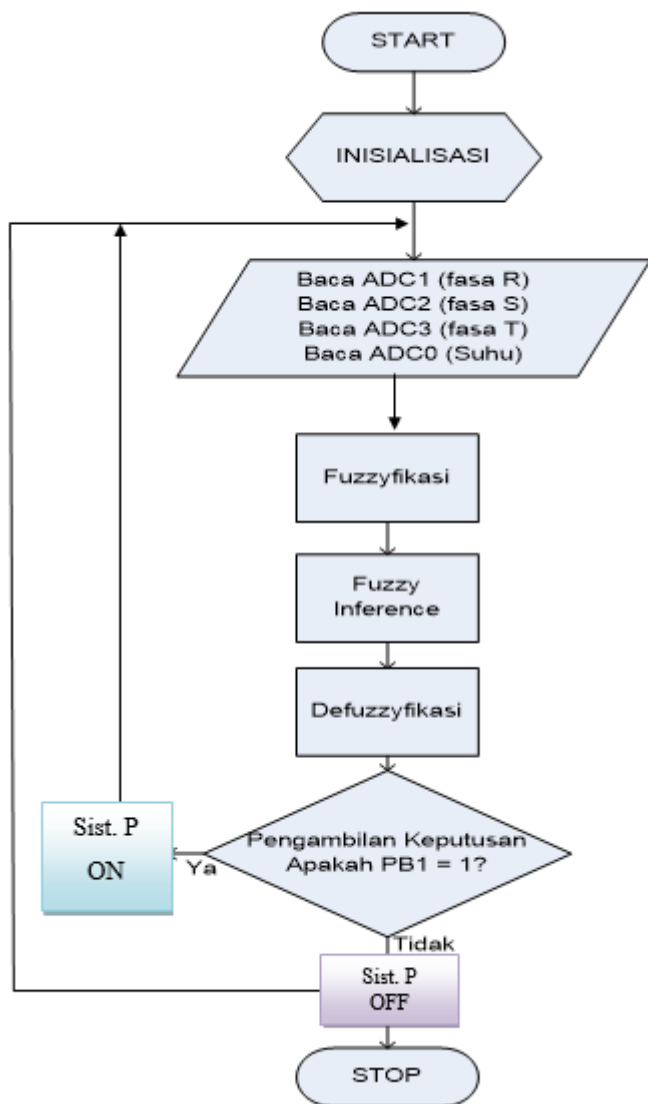


Diagram Alir Penyusunan Sistem Pengaman Motor Induksi

Untuk mewujudkan sistem pengamanan yang diharapkan benar-benar dapat bekerja mengamankan pengoperasian motor induksi tiga fasa dari gangguan ketidakseimbangan suplai tegangan, maka disusun urutan langkah atau proses pembuatan perangkat lunaknya mulai dari inisialisasi perangkat keras hingga tindakan perbaikan sistem yang seharusnya dilakukan. Hal tersebut dapat dinyatakan dengan diagram alir seperti ditunjukkan pada gambar 7.8 dibawah ini:



Gambar 7.8 Diagram alir perangkat lunak sistem pengaman

Fuzifikasi

highval \leftarrow batas tegangan tertinggi perfasa yang diizinkan

lowval \leftarrow batas tegangan terendah perfasa yang diizinkan

trapesium satu \leftarrow nama himpunan di atas tegangan normal

segitiga \leftarrow nama himpunan sama dengan tegangan normal

trapesium dua \leftarrow nama himpunan dibawah tegangan normal

hvrhigh \leftarrow batas atas himpunan trapesium satu

mvrhigh \leftarrow nilai tengah himpunan trapesium satu

lvrrhigh \leftarrow batas bawah himpunan trapesium satu

hvrmid \leftarrow batas atas himpunan segitiga

mvrmid \leftarrow nilai tengah himpunan segitiga

lvrrmid \leftarrow batas bawah himpunan segitiga

hvrllow \leftarrow batas atas himpunan trapesium dua

mvrllow \leftarrow nilai tengah himpunan trapesium dua

lvrrllow \leftarrow batas bawah himpunan trapesium dua

AKHIR - ULANG UNTUK FASA $n = 3$.

Blok basis pengetahuan (*knowledge base*) yang merupakan tempat penyimpanan basis data dan aturan-aturan (*rules base*) yang akan digunakan untuk fuzifikasi data, pembentukan keputusan maupun defuzifikasi data. Dalam bahasa pseudokode dapat dituliskan basis data dan aturan-aturan yang akan digunakan dalam rancangan sistem pengaman sebagai berikut:

Knowledge base:

input \leftarrow besar tegangan terukur pada tiap fasa

Jika input < lvrrllow maka : (1)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $lvr_{low} \leq input \leq mvr_{low}$ maka: (2)

$$\mu_{Tp2} = 1$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $lvr_{mid} < input < mvr_{mid}$ maka: (3)

$$\mu_{Tp2} = (mvr_{mid} - input) \left(\frac{1}{mvr_{mid} - lvr_{mid}} \right)$$

$$\mu_{Sgt} = (input - lvr_{mid}) \left(\frac{1}{mvr_{mid} - lvr_{mid}} \right)$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $Input \geq mvr_{mid}$, maka : (4)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 1$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $lvr_{high} < input < mvr_{high}$ maka: (5)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = (mvr_{high} - input) \left(\frac{1}{mvr_{high} - lvr_{high}} \right)$$

$$\mu_{Tp1} = (input - lvr_{high}) \left(\frac{1}{mvr_{high} - lvr_{high}} \right)$$

Jika $mvr_{high} \leq input \leq hvr_{high}$ maka: (6)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 1$$

Jika input > hvrhigh maka :

(7)

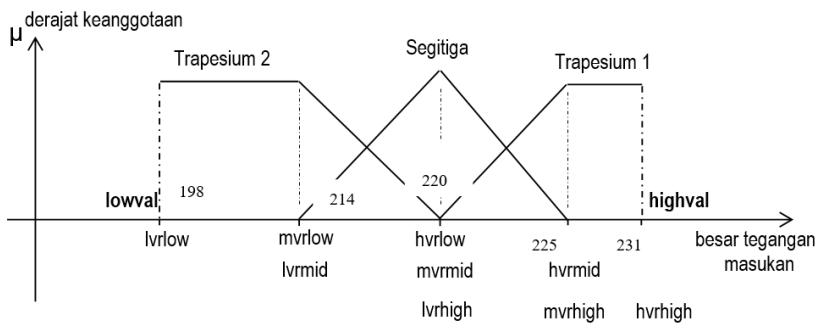
$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

AKHIR - ULANG INPUT FASA $n = 3$.

Implementasi Fuzzifikasi



231 volt ← batas tegangan tertinggi perfasa yang diizinkan

198 volt ← batas tegangan terendah perfasa yang diizinkan

trapesium satu ← nama himpunan di atas tegangan normal

segitiga ← nama himpunan sama dengan tegangan normal

trapesium dua ← nama himpunan dibawah tegangan normal

231 volt ← batas atas himpunan trapesium satu

225 volt ← nilai tengah himpunan trapesium satu

220 volt ← batas bawah himpunan trapesium satu

225 volt ← batas atas himpunan segitiga

220 volt ← nilai tengah himpunan segitiga

214 volt ← batas bawah himpunan segitiga

220 volt ← batas atas himpunan trapesium dua

214 volt ← nilai tengah himpunan trapesium dua

198 volt ← batas bawah himpunan trapesium dua
AKHIR - ULANG UNTUK FASA $n = 3$.

Implementasi Knowledge base:

input ← besar tegangan terukur pada tiap fasa

Jika input < 198 volt maka : (1)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $198 \text{ volt} \leq \text{input} \leq 214 \text{ volt}$ maka: (2)

$$\mu_{Tp2} = 1$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $214 \text{ volt} < \text{input} < 220 \text{ volt}$ maka: (3)

$$\mu_{Tp2} = (220 - \text{input}) \left(\frac{1}{220 - 214} \right)$$

$$\mu_{Sgt} = (\text{input} - 214) \left(\frac{1}{220 - 214} \right)$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika Input 220 volt, maka : (4)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 1$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

Jika $220 \text{ volt} < \text{input} < 225 \text{ volt}$ maka: (5)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = (225 - \text{input}) \left(\frac{1}{225 - 220} \right)$$

$$\mu_{Tp1} = (\text{input} - 220) \left(\frac{1}{225 - 220} \right)$$

Jika $225 \text{ volt} \leq \text{input} \leq 231 \text{ volt}$ maka: (6)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 1$$

Jika $\text{input} > 231 \text{ volt}$ maka : (7)

$$\mu_{Tp2} = 0$$

$$\mu_{Sgt} = 0$$

$$\mu_{Tp1} = 0$$

AKHIR - ULANG INPUT FASA $n = 3$.

Fuzzy Inference

$\mu_{1r} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_r pada trapesium satu

$\mu_{2r} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_r pada segitiga

$\mu_{3r} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_r pada trapesium dua

$\mu_{1s} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_s pada trapesium satu

$\mu_{2s} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_s pada segitiga

$\mu_{3s} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_s pada trapesium dua

$\mu_{1t} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_t pada trapesium satu

$\mu_{2t} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_t pada segitiga

$\mu_{3t} \leftarrow$ derajat keanggotaan input_t pada trapesium dua

hitung minimum:

$$\min 1 = \text{Min} \{ \mu_{1r}, \mu_{1s}, \mu_{1t} \}$$

nilai \min_1 adalah = nilai terkecil diantara μ_{1r} , μ_{1s} , μ_{1t} ,
hal yang sama berlaku untuk \min_2 dan \min_3 di bawah.

$$\min_2 = \text{Min} \{ \mu_{2r}, \mu_{2s}, \mu_{2t} \}$$

$$\min_3 = \text{Min} \{ \mu_{3r}, \mu_{3s}, \mu_{3t} \}$$

Defuzifikasi

a \leftarrow derajat keanggotaan variabel linguistik keluaran trapesium
satu = \min_1

b \leftarrow derajat keanggotaan variabel linguistik keluaran segitiga =
 \min_2

c \leftarrow derajat keanggotaan variabel linguistik keluaran trapesium
dua = \min_3

tinggi \leftarrow nilai titik tengah himpunan trapesium satu

normal \leftarrow nilai titik tengah himpunan segitiga

rendah \leftarrow nilai titik tengah himpunan trapesium dua

$$\text{defuzi} = (a * \text{tinggi} + b * \text{normal} + c * \text{rendah}) / (a + b + c)$$

AKHIR – DEFUZIKASI.

Implementasi Defuzifikasi

$$\text{defuzi} = (\min_1 * 209 + \min_2 * 220 + \min_3 * 225) / (\min_1 + \min_2 + \min_3)$$

Pengambilan Keputusan

Jika $V_{in\ r}$ atau $V_{in\ s}$ atau $V_{in\ t} < \text{lowval}$ maka pengaman off
atau

$$PB_1 = 0 \tag{1}$$

Jika $V_{in\ r}$ atau $V_{in\ s}$ atau $V_{in\ t} > \text{highval}$ maka pengaman
off atau

$$PB1 = 0 \quad (2)$$

Jika temperatur \geq setting point Temperatur, maka
Relay off (3)

Jika keluaran Defuzzy \geq lowval dan keluaran Defuzzy \leq
highval, maka pengaman on atau $PB1 = 1$ (4)

Jika keluaran Defuzzy $<$ lowval dan keluaran Defuzzy $>$
highval, maka pengaman off atau $PB1 = 0$ (5)

Implementasi Pengambilan Keputusan

Jika $Vin\ r$ atau $Vin\ s$ atau $Vin\ t < 198$ volt maka pengaman
off atau

$$PB1 = 0 \quad (1)$$

Jika $Vin\ r$ atau $Vin\ s$ atau $Vin\ t > 231$ volt maka pengaman
off atau

$$PB1 = 0 \quad (2)$$

Jika temperatur \geq setting point Temperatur, maka
pengaman off (3)

Jika keluaran Defuzzy ≥ 198 volt dan keluaran Defuzzy \leq
231 volt, maka pengaman on atau $PB1 = 1$ (4)

Jika keluaran Defuzzy < 198 volt dan keluaran Defuzzy $>$
231 volt, maka pengaman off atau $PB1 = 0$ (5)

BAB VIII

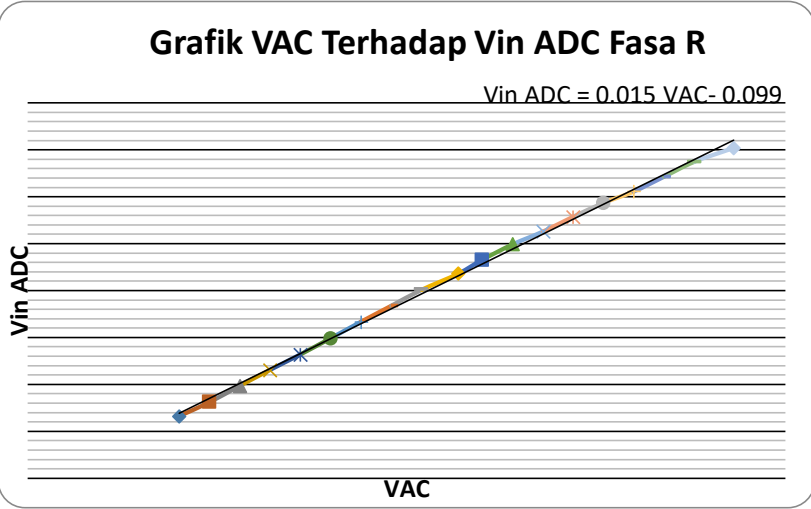
IMPLEMENTASI SISTEM PENGAMANAN MOTOR DENGAN MIKROKONTROLER

Setelah penyusunan perangkat lunak sistem pengaman yang menggunakan bahasa C++ selesai maka hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8.1 di bawah ini.

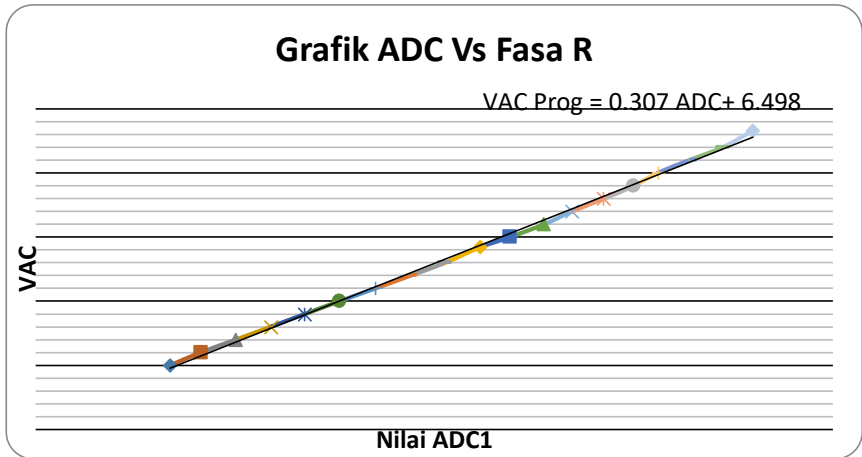
Tabel 8.1 Nilai VAC Program untuk Fasa R S T

Fasa R				Fasa S				Fasa T			
VAC	Vin ADC	Vout ADC	VAC Program	VAC	Vin ADC	Vout ADC	VAC Program	VAC	Vin ADC	Vout ADC	VAC Program
198	2.87	587.41	186.83	198	3.06	626.89	195.93	198	3.06	626.28	197.94
200	2.90	593.54	188.72	200	3.10	633.44	200.12	200	3.09	632.83	199.93
202	2.93	599.68	190.60	202	3.13	639.99	202.12	202	3.13	639.38	201.93
204	2.96	605.82	192.48	204	3.16	646.54	204.12	204	3.16	645.92	203.93
206	2.99	611.96	194.37	206	3.19	653.08	206.11	206	3.19	652.47	205.93
208	3.02	618.10	196.25	208	3.22	659.63	208.11	208	3.22	659.02	207.92
210	3.05	624.23	198.14	210	3.26	666.18	210.11	210	3.25	665.56	209.92
212	3.08	630.37	200.02	212	3.29	672.72	212.10	212	3.29	672.11	211.92
214	3.11	636.51	201.91	214	3.32	679.27	214.10	214	3.32	678.66	213.91
216	3.14	642.65	203.79	216	3.35	685.82	216.10	216	3.35	685.21	215.91

Fasa R				Fasa S				Fasa T			
218	3.17	648.79	205.68	218	3.38	692.37	218.09	218	3.38	691.75	217.91
220	3.20	654.92	207.56	220	3.42	698.91	220.09	220	3.41	698.30	219.90
222	3.23	661.06	209.44	222	3.45	705.46	222.09	222	3.45	704.85	221.90
224	3.26	667.20	211.33	224	3.48	712.01	224.08	224	3.48	711.39	223.90
226	3.29	673.34	213.21	226	3.51	718.56	226.08	226	3.51	717.94	225.89
228	3.32	679.48	215.10	228	3.54	725.10	228.08	228	3.54	724.49	227.89
230	3.35	685.61	216.98	230	3.58	731.65	230.08	230	3.57	731.04	229.89
232	3.38	691.75	218.87	232	3.61	738.20	232.07	232	3.61	737.58	231.88



Gambar 8.1a Grafik VAC VS Vin ADC untuk Fasa R



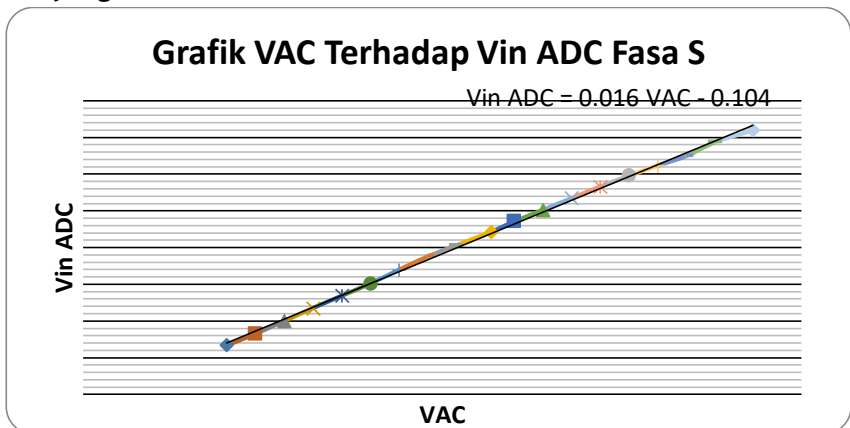
Gambar 8.1b Grafik ADC VS VAC untuk Fasa R

Nilai VAC Program adalah hasil koreksi dari nilai ADC dengan persamaan : $VAC\ Program = 0.307\ ADC + 6.498$

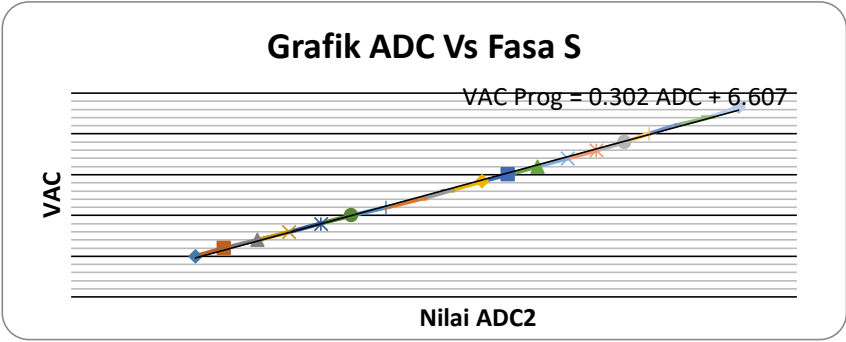
Nilai tegangan yang masuk ke input ADC adalah fungsi dari tegangan VAC dengan persamaan :

$$V_{in\ ADC} = 0.015\ VAC - 0.099$$

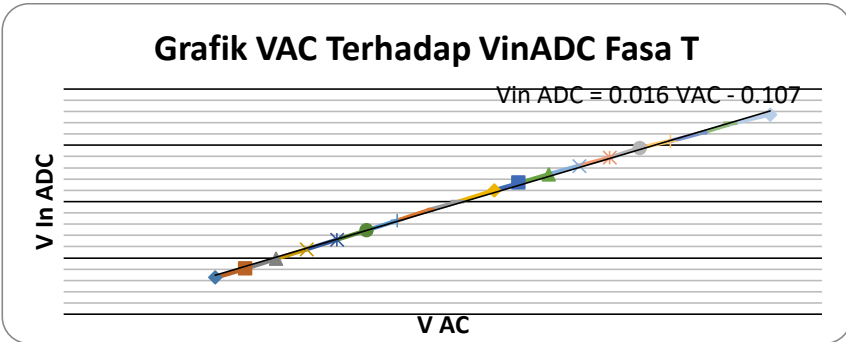
Hal yang sama berlaku untuk fasa S dan fasa T.



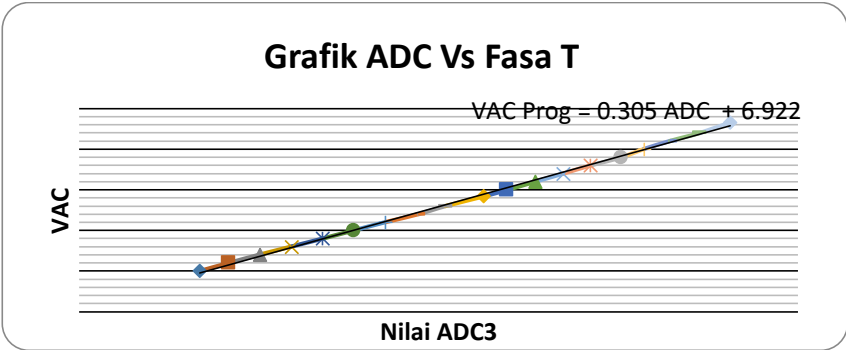
Gambar 8.2a Grafik VAC VS $V_{in\ ADC}$ untuk Fasa S



Gambar 8.2b Grafik ADC VS VAC untuk Fasa S



Gambar 8.3a Grafik VAC VS Vin ADC untuk Fasa T



Gambar 8.3b Grafik ADC VS VAC untuk Fasa T

Tabel 8.2 Pasangan Data Vin ADC Vs VAC Fasa R S T

No.	V AC	Fasa R	Fasa S	Fasa T
		Vin ADC	Vin ADC	Vin ADC
1	50	0.66	0.67	0.65
2	60	0.81	0.83	0.81
3	70	0.98	1.00	0.98
4	80	1.15	1.17	1.15
5	90	1.32	1.34	1.32
6	100	1.49	1.51	1.49
7	110	1.67	1.70	1.67
8	120	1.84	1.88	1.85
9	130	2.01	2.03	1.99
10	142	2.18	2.21	2.20
11	150	2.33	2.36	2.33
12	160	2.49	2.51	2.48
13	170	2.63	2.67	2.63
14	180	2.79	2.83	2.78
15	190	2.93	2.98	2.95
16	200	3.05	3.11	3.07
17	210	3.21	3.25	3.22
18	220	3.37	3.44	3.38
19	233	3.52	3.60	3.54

Tabel 8.3 Pasangan Data ADC Vs VAC Fasa R S T

	V AC	R	S	T
		Out ADC (Desimal)	Out ADC (Desimal)	Out ADC (Desimal)
1	50	135	137	134
2	60	166	169	166
3	70	201	205	201
4	80	236	240	236
5	90	270	275	271
6	100	305	309	305
7	110	341	347	341
8	120	376	385	378
9	130	411	416	408
10	142	446	453	450
11	150	476	482	476
12	160	510	514	508
13	170	538	547	539
14	180	570	579	569
15	190	600	610	603
16	200	625	637	629
17	210	657	665	658
18	220	690	703	691
19	233	720	736	725

Pengujian sistem pengaman untuk mengamankan motor induksi tiga fasa dari suplai tegangan tak seimbang baik secara perangkat lunak maupun dalam wujud perangkat keras menunjukkan hasil yang sangat baik sesuai yang diharapkan. Terbukti bahwa pengaman ini benar-benar dapat bekerja menyerupai manusia yaitu berpikir dan bertindak. Hal ini belum

pernah bisa dilakukan oleh pengaman sebelumnya. Sebagai contoh pada baris pertama Lampiran 5 ditunjukkan bahwa kondisi tegangan suplai tersebut adalah masih normal meskipun tegangan ketiga fasa sumber masih rendah yaitu 198 volt, sehingga jika terjadi sedikit saja penurunan tegangan maka sudah menjadi tegangan kurang (*under voltage*). Hal yang sangat menarik dari penerapan logika samar ini adalah kemampuan memberikan petunjuk tentang besar nilai defuzzy yang diperoleh yakni sebesar 209 volt. Dimana nilai besaran defuzzy tersebut menggambarkan bahwa sistem pengaman tersebut dalam keadaan bekerja atau dengan kata lain $PB_1 = 1$.

Pertanyaan kekhawatiran bahwa bagaimana kalau distribusi beban satu fasa pada sistem distribusi tiga fasa yang tidak merata menyebabkan ketidakseimbangan tegangan yang amat buruk, terjawab pada baris ketigaribu delapan ratus tiga puluh satu. Ketidakseimbangan tegangan yang terkecil ditandai dengan hasil defuzzy sebesar tak terhingga (∞), yang berarti bahwa sistem pengaman off atau $PB_1 = 0$, dengan nilai ketidakseimbangan minimum yang diperoleh sebesar 2,65%.

Baris berikutnya pada lampiran 5 menunjukkan hasil-hasil proses defuzzy yang sering timbul dalam pengoperasian motor induksi tiga fasa, dan dapat dideteksi oleh sistem pengaman hasil rancangan baik secara perangkat lunak maupun secara perangkat keras.

Contoh Untuk Tegangan Tidak Normal

Misal Fasa R : 190 V
 Fasa S : 200 V
 Fasa T : 210 V

Jika Fasa R : 190, maka input ADC1 terukur 2,93 VDC (Analog). Maka keluaran ADC dapat dihitung secara matematis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Out ADC} &= \frac{V_{in \text{ ADC}}}{5 \text{ V}} \times 1023 \\ &= \frac{2,93}{5 \text{ V}} \times 1023 \\ &= 600_{(10)} = 1001011000_{(2)}\end{aligned}$$

Mencari VR dengan persamaan $VR = \text{ADC1} \times 0,307 + 6,498$, dimana Out ADC = ADC1, jadi

$$\begin{aligned}\text{VR} &= 600 \times 0,307 + 6,498 \\ &= 190,7\text{V} \text{ (Lebih besar 0,7 Volt dari pengukuran tegangan sumber)}\end{aligned}$$

Fasa S : 200V, maka input ADC2 terukur 3,11 VDC (Analog). Maka keluaran ADC dapat dihitung secara matematis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Out ADC} &= \frac{V_{in \text{ ADC}}}{5 \text{ V}} \times 1023 \\ &= \frac{3,11}{5 \text{ V}} \times 1023 \\ &= 637_{(10)} = 1001111101_{(2)}\end{aligned}$$

Mencari VR dengan persamaan $VS = \text{ADC2} \times 0,302 + 6,607$, dimana Out ADC = ADC2, jadi

$$\begin{aligned}\text{VS} &= 637 \times 0,302 + 6,607 \\ &= 199\text{V} \text{ (Selisih 1 Volt dengan tegangan input yang terukur)}\end{aligned}$$

Fasa T : 210V, maka input ADC3 terukur 3,22 VDC (Analog). Maka keluaran ADC dapat dihitung secara matematis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Out ADC} &= \frac{V_{in \text{ ADC}}}{5 \text{ V}} \times 1023 \\ &= \frac{3,22}{5 \text{ V}} \times 1023 \\ &= 658_{(10)} = 1010010010_{(2)}\end{aligned}$$

Mencari VR dengan persamaan $VS = \text{ADC3} \times 0,305 + 6,922$, dimana Out ADC = ADC3, jadi

$$\begin{aligned}\text{VS} &= 658 \times 0,305 + 6,922 \\ &= 208\text{V} \text{ (Selisih 2 Volt dengan tegangan input yang terukur)}\end{aligned}$$

Dengan demikian tegangan yang terhitung dalam program untuk masing-masing fasa yaitu

VR = 190

VS = 199

VT = 208

Karena tegangan fasa R = 190 lebih kecil dari 198, maka PB1 (Output Mikrokontroler) akan berlogika = 0. Berarti tidak ada suplay ke kontaktor (MC) dengan demikian motor berhenti (OFF)

Hasil uji secara laboratorium membuktikan bahwa sistem pengaman ini benar-benar dapat bekerja dengan baik dan tepat untuk mengamankan motor-motor induksi yang terdapat pada berbagai industri terhadap multi gangguan yang sering mengganggu dilapangan.

Terdapat sejumlah pernyataan penting terkait dengan sistem pengamanan motor dengan mikrokontroler sebagai berikut:

1. Telah dikembangkan suatu Prototipe sistem Pengaman Berbasis Logika Samar untuk mengamankan motor Induksi terhadap gangguan : over voltage, under voltage, over heating, unbalance voltage, dan single phasing.
2. Menyesuaikan pengoperasian motor induksi tiga fasa pada suplai tegangan tak seimbang agar tidak menimbulkan kerusakan pada motonya juga berhasil diwujudkan dengan memberikan setting tegangan terendah (lowval) dan tegangan tertinggi (highval) pada sumber tegangan masukan yang dihubungkan ke AVR Mikrokontroller dan dioperasikan berdasarkan prinsip-prinsip logika samar. Uji laboratorium sistem pengaman ini menunjukkan kemampuannya mendeteksi kondisi single phasing dan

kondisi tak simetris yang merusak sehingga dapat diambil tindakan yang tepat untuk mengamankan pengoperasian motor induksi tersebut.

3. Membangun sistem pengaman berbasis mikrokontroler untuk memproteksi motor induksi tiga fasa telah berhasil diwujudkan dengan membuat perangkat keras pengaman dengan menggunakan mikrokontroler AVR AT Mega 32. Uji laboratorium perangkat keras pengaman ini telah berfungsi dengan baik, misalnya menunjukkan pengaman dalam keadaan bekerja jika keluaran defuzzy ≥ 198 volt dan keluaran defuzzy ≤ 231 volt ($PB_1 = 1$) dan pengaman tidak dalam keadaan bekerja jika keluaran defuzzy < 198 volt dan keluaran defuzzy > 231 volt ($PB_1 = 0$)
4. Penerapan peralatan pendeteksi pengaruh temperatur pada pengoperasian motor induksi tiga fasa berbasis mikrokontroler terbukti berhasil baik dengan menggunakan sensor temperatur type LM 35.
5. Untuk lebih menyempurnakan perangkat keras hasil penelitian ini agar benar-benar dapat diaplikasikan pada pengamanan motor induksi tiga fasa pada berbagai industri maka disarankan diadakan penelitian lanjut untuk mengamati kondisi kestabilan sistem dan keandalan serta daya tahan perangkat keras (sistem pengaman) yang telah dibuat.

BAB IX

PENGUKURAN SIMULASI PROGRAM TERHADAP PARAMETER AKIBAT DENGAN PENYEBAB

Pada program diagnosa kerusakan motor induksi satu fasa yang dirancang ini memiliki lima parameter dan masing-masing parameter memiliki lima kategori penetapan nilai. Kemungkinan yang terjadi berdasarkan ketentuan diatas maka berlaku aturan K^n dengan K = parameter, n = jumlah kategori. Bila aturan tersebut digunakan maka kemungkinan yang terjadi adalah $5^5 = 3125$. jadi kemungkinan pengetahuan dapat didefinisikan berjumlah 3125.

Berdasarkan hasil penelitan yang dilakukan dengan mengambil beberapa komponen motor yang menjadi bahan pertimbangan kondisi motor, maka terdapat beberapa kesimpulan defenisi, diantaranya perubahan pada kumparan utama yang memiliki tiga defenisi yakni : (1) kumparan utama terkupas, (2) kumparan utama terbakar, dan (3) kumparan utama putus. Pada simulasi yang dilakukan, hal ini dapat di ukur masing-masing maupun secara serentak, dengan menggunakan *logika fuzzy*.

Hasil Rancangan Antarmuka Program

Data input dan data output telah diketahui sehingga komponen-komponen ini patut dikelola dengan baik khususnya pengelolaan secara terprogram dengan metode sistem fuzzy dengan mengadakan perancangan antar muka program. Setelah proses perancangan dilakukan secara saksama dengan memperhatikan setiap item komponen diantaranya parameter yang merupakan langkah awal yakni inputan, perlakuan ini akan digunakan oleh user sebagai penerapan.

Gambar 5.1 berikut adalah tampilan hasil rancangan antar muka program serta uraian fasilitas yang disediakan.

The screenshot shows a software application titled 'Aplikasi Pengukuran Mesin Satu Fasa'. The main window is titled 'PENGUKURAN' and contains the following elements:

- Left Sidebar (Menu):**
 - Knowledge
 - Penambahan Basis Pengetahuan
 - Data Basis Pengetahuan
 - Project
 - New Project
 - Pengukuran
 - Data-data Hasil Pengukuran
 - Log Out
 - Data Master
 - Modifikasi Parameter
- Main Content Area:**
 - AKIBAT (Effect) Table:** A table for inputting measurement data. The columns are 'Sangat Rendah', 'Rendah', 'Sedang', 'Tinggi', and 'Sangat Tinggi'. The rows are 'Suhu', 'Suara', 'Kecepatan', 'Arus', and 'Tegangan'. Each cell contains a numeric input field (currently showing 0) and a corresponding value in the header row (0.0).
 - SEBAB (Cause):** A large empty text area for inputting the cause of the problem.
- Right Panel (Data Project):**
 - Id Project Aktif: [Empty field]
 - Data Project
 - Id: [Empty field]
 - 1: Sample Motor Cuci
 - 2: Mesin Merk Shenzu
 - 3: Mesin Induksi 1 fasa
- Bottom Bar:** Buttons for 'Diagnosa', 'Simpan', 'Reset', and 'Keluar'.

Gambar 9.1 Tampilan program sistem fuzzy diagnosa motor induksi satu fasa

Fasilitas program yang dibangun terdiri dari :

- 1) Form Parameter ; fasilitas ini adalah untuk mendefenisikan nilai-nilai berdasarkan kelompok himpunan *fuzzy*. Parameter himpunan *fuzzy* terdiri lima parameter himpunan yakni : parameter arus, parameter kecepatan, parameter suara, parameter temperatur, dan parameter tegangan.
- 2) Form *knowledge Base*; fasilitas ini adalah untuk menambah basis pengetahuan sekiranya ada pengetahuan baru (lihat Lampiran 1.)
- 3) Form *inferensi*; fasilitas ini adalah bagian inti dari program untuk mendiagnosa berdasarkan rangsangan nilai-nilai input yang dimasukkan.
- 4) Form edit; fasilitas ini adalah untuk merubah pengetahuan yang ada baik perluasan pengetahuan maupun penyederhanaan atau ringkasan pengetahuan yang diperoleh (lihat Lampiran 2.)
- 5) Form Hapus; fasilitas ini disediakan apabila ada data yang tidak relevan lagi sehingga data tersebut harus dihapus (lihat Lampiran 3.)

Pengujian Sistem

1. Pendefenisian parameter

Pada pendefenisian parameter ini akan di input (*crisp input*) ketentuan-ketentuan nilai berdasarkan *scop / domain* secara terinci dengan memperhatikan *membership* atau kelompok himpunannya.

Gambar 5.2 berikut memperlihatkan keadaan *membership* dari Parameter suhu.

	Batas Bawah	Puncak	Batas Atas
Sangat Rendah		20	28
Rendah	20	28	39
Sedang	28	39	53
Tinggi	39	53	70
Sangat Tinggi	53	70	

Gambar 9.2 Defenisi nilai parameter berdasarkan membership terhadap *scop / domain*

Batas bawah merupakan nilai terendah dari *membership*, batas bawah merupakan kebalikan dari batas bawah yakni nilai tertinggi dari *membership*. Untuk menentukan nilai puncak dari *membership* adalah sebagai berikut.

Crisp input batas atas + *crisp input* batas bawah

2

Berdasarkan rumus di atas maka untuk mendapatkan nilai tengah *Crisp input* dari *membership* rendah hasilnya adalah 28.

Pada *membership* sangat rendah tidak terdapat batas bawah, hal ini dikarenakan *degree of membership* dibatasi antara 0 sampai dengan 1, berarti nilai 20 kebawah merupakan mutlak di miliki oleh *membership* sangat rendah, demikian sebaliknya dengan *membership* sangat tinggi mulai dari *crisp input* 70 keatas mutlak menjadi milik *membership* sangat tinggi.

2. Pengujian dengan teknik inferensi

Setelah pendefinisian parameter tuntas dilakukan maka akan diadakan diagnosis dengan teknik inferensi. Tiap *crisp input*

yang diberikan pada *textfield* maka *fuzzy logic* akan mengelolah nilai *crisp input* tersebut untuk memetakan membership.

Pengujian akan dilakukan berdasarkan data-data yang telah diperoleh di lapangan.

Jika diberikan nilai-nilai input sebagai berikut (sesuai data pada hasil penelitian di depan) :

“If suhu 42° dan kecepatan 2979 dan arus 1.2 dan tegangan 256 dan suara 2 “

Dapat dilihat pada gambar 5.3 teknik inferensi dengan *fuzzy input*, akan dilakukan inferensi untuk setiap kondisi keberadaan peralatan motor dengan menggunakan metode Tsukamoto sebagai berikut.

Penambahan Basis Pengetahuan

Data Basis Pengetahuan

Project

New Project

Pengukuran

Data-data Hasil Pengukuran

Log Out

Data Master

Modifikasi Parameter

PENGUKURAN

AKIBAT		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Suhu	42	0.0	0.0	0.7272	0.3529	0.0
Suara	2	1	0	0.0	0.0	0.0
Kecepatan	2979	0.0	0.0	0.0	0.08	0.92
Arus	1.2	0.0	0.1666	0.625	0.0	0.0
Tegangan	256	0.0	0.0	0.2333	0.6545	0.0

SEBAB

Suhu 'Sedang', Suara 'Sangat Rendah', Kecepatan 'Sangat Tinggi', Arus 'Sedang', Tegangan 'Tinggi' diakibatkan oleh 'Bantalan Normal, Kumparan Utama Normal, Kumparan Bantu Isolasi Terkupas, '

Diagnosa

Simpan

Reset

Keluar

Gambar 9.3 Teknik inferensi dengan *fuzzy input*. Satu informasi diagnosa dengan parameter lengkap

Sistem Pengamanan Motor dengan Mikrokontroler

99

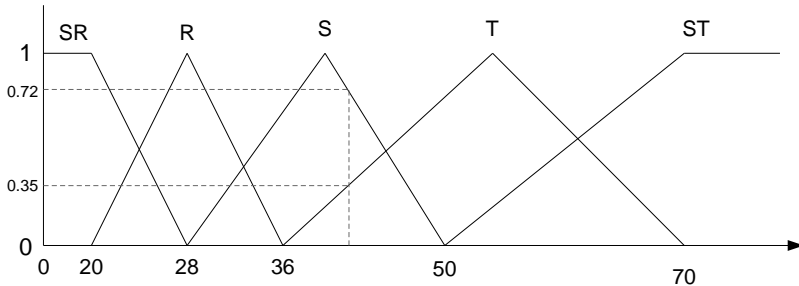
Dengan nilai Suhu = 42°C maka hasil yang diperoleh sebagai berikut.

a) Suhu = 42

$$\mu_S(42) = \frac{d - x}{d - c^1} = \frac{50 - 42}{50 - 39} = 0,72$$

$$\mu_T(29) = \frac{x - c}{d^1 - c} = \frac{42 - 36}{53 - 36} = 0,35$$

gambar 9.4, di bawah ini menunjukkan posisi penempatan nilai 42 sebagai parameter suhu berdasarkan himpunan *fuzzy input*.



Gambar 9.4 Nilai input dengan menggunakan parameter suhu

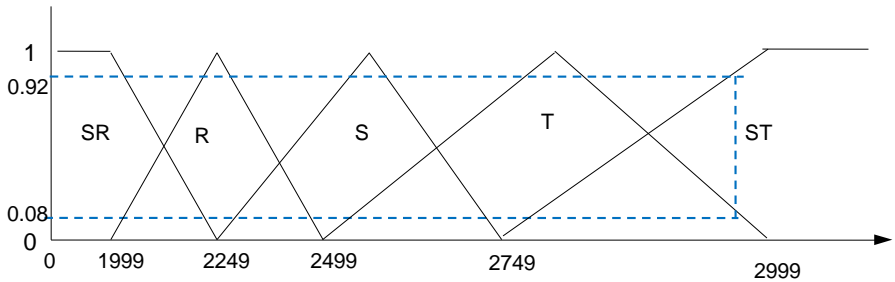
Kemudian untuk mendapatkan nilai kecepatan sebagai berikut.

b) Kecepatan = 2979

$$\mu_T(2979) = \frac{e - x}{e - d^1} = \frac{2999 - 2979}{2999 - 2749} = 0,08$$

$$\mu_{ST}(2979) = \frac{x - d}{e^1 - d} = \frac{2979 - 2749}{2999 - 2749} = 0,92$$

Gambar 9.5, di bawah ini menunjukkan posisi penempatan nilai 2979 sebagai parameter kecepatan berdasarkan himpunan fuzzy input.



Gambar 9.5 Nilai input dengan menggunakan parameter kecepatan

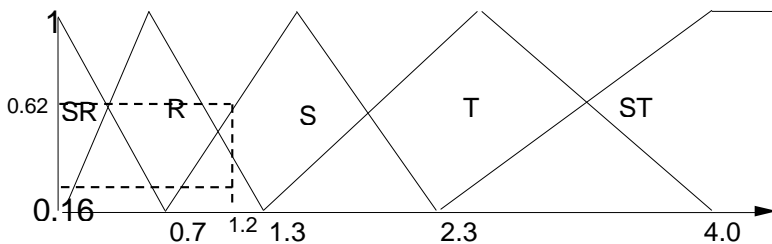
Selanjutnya untuk mendapatkan nilai arus sebagai berikut.

c) arus = 1,2

$$\mu_R(1,2) = \frac{c - x}{c - b^1} = \frac{1,3 - 1,2}{1,3 - 0,7} = 0,16$$

$$\mu_S(1,2) = \frac{x - b}{c^1 - b} = \frac{1,2 - 0,7}{1,5 - 0,7} = 0,62$$

Gambar 5.6, di bawah ini menunjukkan posisi penempatan nilai 1,2 sebagai parameter arus berdasarkan himpunan fuzzy input.



Gambar 9.6 Nilai input dengan menggunakan parameter arus

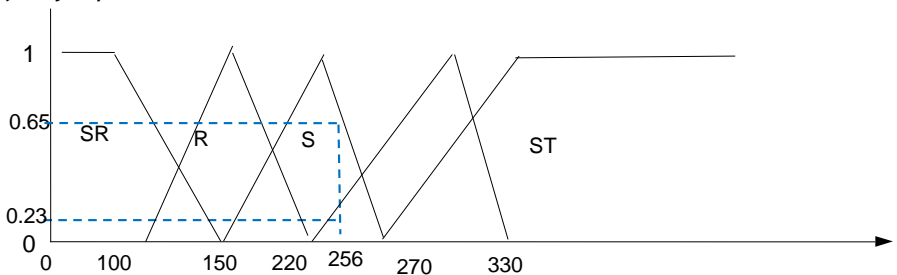
Kemudian untuk mendapatkan nilai tegangan sebagai berikut.

d) Tegangan = 256

$$\mu_S(256) = \frac{d - x}{d - c^1} = \frac{270 - 256}{270 - 210} = 0,23$$

$$\mu_T(256) = \frac{x - c}{d^1 - c} = \frac{256 - 220}{275 - 220} = 0,65$$

gambar 5.7, di bawah ini menunjukkan posisi penempatan nilai 256 sebagai parameter tegangan berdasarkan himpunan fuzzy input.



Gambar 9.7 Nilai input dengan menggunakan parameter tegangan

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai suara sebagai berikut.

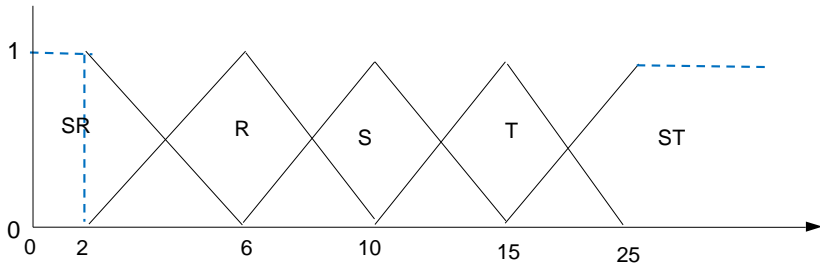
e) Suara = 2

Karena nilai *crisp input* 2 terletak pada kelompok *membership* SR dengan syarat kurang atau sama dengan 2 maka nilai *degree of membership* memperoleh nilai mutlak 1, sementara pada kelompok himpunan Rendah nilai 2 tepat pada batas bawah dengan nilai *degree of membership* 0. Simbolnya adalah sebagai berikut.

$$\mu_{SR}(2) = x \leq a^1 = 1$$

$$\mu_R(2) = a \geq x \geq c = 0$$

gambar 9.8, di bawah ini menunjukkan posisi penempatan nilai 2 sebagai parameter suara berdasarkan himpunan fuzzy input.



Gambar 9.8 Nilai input dengan menggunakan parameter suara

Sesuai dengan basis pengetahuan maka diperoleh nilai yang mendekati nilai 1 dari 0 sampai 1. Hasil diagnosa akan memberi tahu melalui monitor penjelasan sebagai berikut.

“Suhu Sedang (0,72) dan kecepatan Sangat Tinggi (0,92) dan arus Sedang (0,625) dan tegangan Tinggi (0,65) dan suara Sangat Rendah (1,0) diakibatkan oleh Bantalan normal, kumparan utama normal, kumparan Bantu isolasi terkupas“

Program sistem fuzzy ini dapat memberikan penalaran untuk data-data yang tidak lengkap. misalnya *crisp input* hanya bernilai satu dari seluruh parameter uji maka kemungkinan diagnosa akan semakin banyak yang ditampilkan. Misalnya parameter yang digunakan hanya kecepatan dengan dengan *crisp input* 2979 dengan demikian *membershipnya* adalah kecepatan sangat tinggi, diagnosa akan menghasilkan lebih dari satu. Bila pada basis pengetahuan kecepatan sangat tinggi ada 10 kemungkinan maka semua kemungkinan ini akan ditampilkan semua. Semakin lengkap parameter yang terinput maka hasil

diagnosa akan semakin spesifik demikian pula semakin sedikit data yang terinput maka diagnosa akan semakin Kabur, karena banyaknya penjelasan yang disajikan.

Gambar 5.9 di bawah ini, memperlihatkan contoh penerapan program diagnosa dengan parameter input yang tidak lengkap.

		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
AKIBAT						
Suhu	48	0.0	0.0	0.1818	0.7058	0.0
Suara	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kecepatan	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Arus	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tegangan	150	0	0.8333	0.0	0.0	0.0

SEBAB

Bantu Isolasi Terkupas, ' Suhu 'Tinggi', Suara 'Sangat Tinggi', Kecepatan 'Sangat Tinggi', Arus 'Sangat Tinggi', Tegangan 'Rendah' diakibatkan oleh 'Bantalan Berkarat, Bantalan Kekurangan Gemuk, Bola Hagel Rusak, Kumparan Utama Isolasi Terkupas, Kumparan Bantu Isolasi Terkupas,'

Buttons: Diagnosa, Simpan, Reset, Keluar

Gambar 9.9 Informasi *fuzzy input* dengan menggunakan parameter yang tidak lengkap

Ketika respon suhu terinput dengan nilai seperti terlihat pada *textfield* suhu, proses diagnosa akan mengeksekusi permintaan maka *textArea* akan menginformasikan semua kemungkinan berdasarkan respon input tersebut. Kelihatan bahwa setiap suhu yang memiliki parameter tinggi akan ditampilkan dengan macam-macam keterangan yang ada.

3. Informasi kesalahan

Program ini menyeleksi tiap inputan yang tidak mungkin terjadi seperti tegangan nol. Pada tegangan nol seharusnya tidak

ada respon apa-apa yang terjadi, baik kecepatan, perubahan suhu, adanya suara dan masuknya arus. Bila hal ini terinput maka komputer akan menginformasikan bahwa hal ini tak mungkin terjadi. Proses pendefinisian ini diberikan agar supaya jelaslah bahwa data yang benar, data tidak benar atau tidak sesuai dengan fakta yang ada baik secara teori maupun pelaksanaannya dilapangan dapat diinformasikan.

Gambar 9.10 di bawah ini, memperlihatkan contoh penerapan program diagnosa dengan parameter input yang salah (tegangan tidak boleh bernilai nol).

PENGUKURAN

		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
AKIBAT						
Suhu	42	0.0	0.0	0.7272	0.3529	0.0
Suara	2	1	0	0.0	0.0	0.0
Kecepatan	2979	0.0	0.0	0.0	0.08	0.92
Arus					0.0714	0.0
Tegangan					0.0	0.0

SEBAB

Diagnosa Simpan Reset Keluar

Gambar 9.10 Informasi fuzzy input dengan menggunakan parameter yang salah (tegangan tidak boleh bernilai nol).

4. Penambahan pengetahuan baru

Pengetahuan setiap saat dapat berkembang, sehingga dapat dengan cepat terjadi perubahan terhadap teknologi yang dibangun. Perubahan dan perkembangan ini perlu segera diatasi sedini mungkin. Khusus pada pembangunan sistem diagnosa fuzzy ini menyediakan fasilitas form penambahan pengetahuan bila ada

pengetahuan baru yang akan di *input*. Antarmuka program untuk form penambahan basis pengetahuan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1.

5. Edit dan hapus pengetahuan

Program ini menyediakan fasilitas untuk mengedit pengetahuan serta menghapus entri pengetahuan bila ada hal-hal tentang pengetahuan yang berubah, atau penambahan pengetahuan terhadap “penyebab” selain yang telah didefinisikan dalam penelitian ini. Antar muka program ini dapat dilihat pada lampiran 2 dan lampiran 3.

6. Implementasi program

Program ini dibangun dengan menggunakan perangkat lunak bahasa pemrograman Delphi 2010 dengan *product Version : 2010. Operating system* yang digunakan adalah *windows Xp Version 5.1 running on X86*, dengan menggunakan *database MySql*. *Listing program* dapat dilihat pada lampiran 4. Sistem perangkat keras yang digunakan adalah *processor Intel celeron 1.7 GHz*. RAM 256 MHz

BAB X

LISTING PROGRAM PERANGKAT LUNAK SISTEM PENGAMANAN MOTOR INDUKSI BERBASIS LOGIKA SAMAR

```
/*-----  
Name      : Sistem Pengaman Motor Induksi 3 phasa  
Author    : Yunus Tjandi  
CHIP      : AVR AT MEGA32  
Bahasa    : C++  
-----*/  
  
#include <mega32.h>  
#include <delay.h>  
#asm  
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC  
#endasm  
#include <lcd.h>  
#include <math.h>  
#define ADC_VREF_TYPE 0x40  
  
bit f_scn_kpd;  
unsigned char rib,rat,pul,sat,per_10,per_100,per_1000;
```

```

unsigned char keypad,urutan,Lowval,i,count_disp,SP_Suhu;
unsigned int suhu,Highval;
unsigned int Vin_R,Vin_S,Vin_T,V_adc;
float u_TP1,u_SGT,u_TP2;
float output_rtp1,output_rsgt,output_rtp2;
float output_stp1,output_ssgt,output_stp2;
float output_ttp1,output_tsgt,output_ttp2;
float output_min_tp1,output_min_sgt,output_min_tp2;
float defuzy,temfloat1,temfloat2,temfloat3;
unsigned int defuzy_int;
unsigned long angka;
unsigned char menu,nilai;
//-----
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
    ADCSRA|=0x40;
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}
//-----
void display_float(float nilai)
{
    angka=nilai*1000;
    rat=(angka/100000)+'0';
    pul=((angka%100000)/10000)+'0';
    sat=((((angka%100000)%10000)/1000)+'0';
    per_10=(((angka%100000)%10000)%1000)/100)+'0';
    per_100=((((angka%100000)%10000)%1000)%100)/10)+'0';
    per_1000=((((((angka%100000)%10000)%1000)%100)%10)+'0';

```

```

if(rat!='o')
{lcd_putchar(rat);
 lcd_putchar(pul);
 lcd_putchar(sat);
}
else if (pul!='o')
{
 lcd_putchar(pul);
 lcd_putchar(sat);
}
else
{lcd_putchar(sat);}
lcd_putchar(',');

if(per_1000!='o')
{lcd_putchar(per_10);
 lcd_putchar(per_100);
 lcd_putchar(per_1000);
}
else if(per_100!='o')
{lcd_putchar(per_10);
 lcd_putchar(per_100);
}
else
{lcd_putchar(per_10);}
}
//*****
*****

void display_int(unsigned int angka)
{

```

```

rib=(angka/1000)+'o';
rat=(angka%1000)/100+'o';
pul=((angka%1000)%100)/10+'o';
sat=((angka%1000)%100)%10+'o';
if(rib!='o')
{
    lcd_putchar(rib);
    lcd_putchar(rat);
    lcd_putchar(pul);
    lcd_putchar(sat);
}
else if(rat!='o')
{
    lcd_putchar(rat);
    lcd_putchar(pul);
    lcd_putchar(sat);
}
else if (pul!='o')
{
    lcd_putchar(pul);
    lcd_putchar(sat);
}
else
{lcd_putchar(sat);
}
}
//*****
void get_sensor()
{
    V_adc=read_adc(0);
    temfloat1=V_adc*4.8875;

```

```

temfloat1=temfloat1*0.1;
suhu=ceil(temfloat1); //ambil nilai pembulatan

V_adc=read_adc(1);
temfloat1=V_adc*0.307;
temfloat2=temfloat1+6.498;
Vin_R=ceil(temfloat2);

V_adc=read_adc(2);
temfloat1=V_adc*0.302;
temfloat2=temfloat1+6.607;
Vin_S=ceil(temfloat2);

V_adc=read_adc(3);
temfloat1=V_adc*0.305;
temfloat2=temfloat1+6.922;
Vin_T=ceil(temfloat2);
}
//*****
void fuzifikasi(unsigned int Vin) //fuzifikasi err & d_err

{ u_TP1=u_SGT=u_TP2=0;
  if (Vin < 198) u_TP2=0;
  else if (Vin <= 214)
  {
    u_TP2=1;
  }
  else if (Vin< 220)
  {
    u_TP2=(220-Vin)*0.167;
    u_SGT=(Vin-214)*0.167;
  }
}

```

```

    }
else if (Vin< 225)
{
    u_SGT=(225-Vin)*0.2;
    u_TP1=(Vin-220)*0.2;
}
else if (Vin<= 231)
{
    u_TP1=1;
}
else if (Vin> 231)
{
    u_TP1=0;
}
}
//-----
void fuzi_inference()
{
    output_min_tp1=0;
    output_min_sgt=0;
    output_min_tp2=0;
    //----min TP1----
    if(output_rtp1!=0)
    {
        if((output_stp1!=0)&(output_ttp1!=0))
        {
            output_min_tp1=fmin(output_rtp1,output_stp1);
            output_min_tp1=fmin(output_min_tp1,output_ttp1);
        }
        else if((output_stp1!=0)&(output_ttp1==0))
        {

```



```

        output_min_tp1=fmin(output_rtp1,output_stp1);
    }
    else if (output_ttp1!=0)
    {
        output_min_tp1=fmin(output_rtp1,output_ttp1);
    }
    else
    {
        output_min_tp1=output_rtp1;
    }
}
else if(output_stp1 !=0)
{
    if (output_ttp1!=0)
    {
        output_min_tp1=fmin(output_stp1,output_ttp1);
    }
    else
    {
        output_min_tp1=output_stp1;
    }
}
else if(output_ttp1 !=0)
{
    output_min_tp1=output_ttp1;
}
//-----min SGT-----
if(output_rsgt !=0)
{
    if((output_ssgt!=0)&(output_tsgt!=0))
    {

```

```

        output_min_sgt=fmin(output_rsgt,output_ssgt);
        output_min_sgt=fmin(output_min_sgt,output_tsgt);
    }
else if (output_tsgt!=0)
{
    output_min_sgt=fmin(output_rsgt,output_tsgt);
}
else
{
    output_min_sgt=output_rsgt;
}
}
else if(output_ssgt !=0)
{
    if (output_tsgt!=0)
    {
        output_min_sgt=fmin(output_ssgt,output_tsgt);
    }
    else
    {
        output_min_sgt=output_ssgt;
    }
}
else if(output_tsgt !=0)
{
    output_min_sgt=output_tsgt;
}
}
//-----min TP2-----
if(output_rtp2 !=0)
{
    if((output_stp2!=0)&(output_ttp2!=0))

```

```

    {
        output_min_tp2=fmin(output_rtp2,output_stp2);
        output_min_tp2=fmin(output_min_tp2,output_ttp2);
    }
else if (output_ttp2!=0)
    {
        output_min_tp2=fmin(output_rtp2,output_ttp2);
    }
else
    {
        output_min_tp2=output_rtp2;
    }
}
else if(output_stp2 !=0)
{
    if (output_ttp2!=0)
    {
        output_min_tp2=fmin(output_stp2,output_ttp2);
    }
    else
    {
        output_min_tp2=output_stp2;
    }
}
else if(output_ttp2 !=0)
{
    output_min_tp2=output_ttp2;
}
}
//-----
void defuzzyfikasi()

```

```

{
    temfloat1=output_min_tp2*209;
    temfloat2=output_min_sgt*220;
    temfloat3=output_min_tp1*225.5;
    defuzy=temfloat1+temfloat2+temfloat3;
    temfloat1=output_min_tp2+output_min_sgt+output_min_tp1;
    defuzy=defuzy/temfloat1;

    defuzy_int=ceil(defuzy);
}
//*****
void entri_data()      //fungsi entri data dari keypad
{
    delay_ms(250);      //unbouncing
    urutan ++;
    switch (urutan)
    {
        case 1:
            lcd_putchar(keypad+'0');
            nilai=keypad;
            break;
        case 2:nilai=nilai*10;
            nilai=nilai+keypad;
            lcd_putchar(keypad+'0');
            if(menu==23)
            {
                urutan=0;
                lcd_gotoxy(8,0);
            }
            break;
        case 3:nilai=nilai*10;

```

```

        nilai=nilai+keypad;
        lcd_putchar(keypad+'0');
        lcd_gotoxy(8,0);
        urutan=0;
        break;
    }
}
//-----
void pilih_menu()
{
    switch (menu)
    {
        case 1: lcd_clear();
                lcd_putsf("1. Set Highval");
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_putsf("ENT=OK,<->=Menu");
                //menu=11;
                break;
        case 2: lcd_clear();
                lcd_putsf("2. Set Lowval");
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_putsf("ENT=OK,<->=Menu");
                //menu=12;
                break;
        case 3: lcd_clear();
                lcd_putsf("3. Set SP Suhu");
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_putsf("ENT=OK,<->=Menu");
                //menu=13;
                break;
        case 11: lcd_clear();

```

```

    lcd_putsf("Highval= Volt");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("ENT=OK,CAN=Cancl");
    lcd_gotoxy(8,0);
    _lcd_ready();
    _lcd_write_data(0xf);    //lcd blink
    menu=21;
    break;
case 12:lcd_clear();
    lcd_putsf("Lowval = Volt");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("ENT=OK,CAN=Cancl");
    lcd_gotoxy(8,0);
    _lcd_ready();
    _lcd_write_data(0xf);    //lcd blink
    menu=22;
    break;
case 13:lcd_clear();
    lcd_putsf("SP Suhu= C");
    lcd_gotoxy(11,0);lcd_putchar(0xDF);
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("ENT=OK,CAN=Cancl");
    lcd_gotoxy(8,0);
    _lcd_ready();
    _lcd_write_data(0xf);    //lcd blink
    menu=23;
    break;
case 21:
    Highval=nilai;
    lcd_clear();
    lcd_putsf("Save set point");

```

```

        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("Highval ....");
        delay_ms(2000);
        menu=1;
        urutan=0;
        pilih_menu();
        break;
    case 22:
        Lowval=nilai;
        lcd_clear();
        lcd_putsf("Save set point");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("Lowval ....");
        delay_ms(2000);
        menu=1;
        urutan=0;
        pilih_menu();
        break;
    case 23:
        SP_Suhu=nilai;
        lcd_clear();
        lcd_putsf("Save set point");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("Suhu ....");
        delay_ms(2000);
        menu=1;
        urutan=0;
        pilih_menu();
        break;
    }
}

```

```

//*****
void scan_keypad()
{
    urutan=0;nilai=0;
    do
    { PORTD=0b11101111;delay_ms(2);      //kolom 1 aktif
      if((PIND.0==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20))    //angka 1
1111111
      {
        keypad=1;
        entri_data();
        delay_ms(250);
      }
    else if((PIND.1==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) // 4
    {
      keypad=4;
      entri_data();
      delay_ms(250);
    }
    else if((PIND.2==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) // 7
    {
      keypad=7;
      entri_data();
      delay_ms(250);
    }
    else if((PIND.3==0)&(f_scn_kpd==1)) //CAN
    {
      lcd_clear();
      _lcd_ready();
      _lcd_write_data(0xC);
      f_scn_kpd=0;
    }
}

```



```

    urutan=0;
    menu=0;
    delay_ms(250);
}
else {};
PORTD=0b11011111;delay_ms(2); // kolom 22222222222
delay_ms(2);
if((PIND.0==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20))    //2
{
    keypad=2;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.1==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20))    //5
{
    keypad=5;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.2==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) //8
{
    keypad=8;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.3==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) //o
{
    keypad=0;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}

```

```

else {}
PORTD=0b10111111; //KOLOM 33333333
delay_ms(2);
if((PIND.0==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) //3
{
    keypad=3;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.1==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) //6
{
    keypad=6;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.2==0)&(f_scn_kpd==1)&(menu>20)) //9
{
    keypad=9;
    entri_data();
    delay_ms(250);
}
else if(PIND.3==0) //ENTER
{
    switch(menu)
    {
        case 1: menu=11;break;
        case 2: menu=12;break;
        case 3: menu=13;break;
    }
    pilih_menu();
    delay_ms(250);
}

```

```

    }
else {};
PORTD=0b01111111; //KOLOM 4444
delay_ms(2);
if((PIND.0==0)&(f_scn_kpd==1)) //COR
{
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.1==0)&(f_scn_kpd==0)) //MENU
{
    menu=1;
    pilih_menu();
    f_scn_kpd=1;
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.2==0)&(f_scn_kpd==1)) //UP
{
    menu=menu-1;
    if(menu==0) menu=3;
    pilih_menu();
    delay_ms(250);
}
else if((PIND.3==0)&(f_scn_kpd==1)) //DOWN
{
    menu=menu+1;
    if(menu==4) menu=1;
    pilih_menu();
    delay_ms(250);
}
else {};
} //PUNYA DO

```

```

while(f_scn_kpd);
f_scn_kpd=0;
}
//*****
void main()
{

DDRD=0b11110000;
PORTD=0B11111111;
DDRB.1=1;

delay_ms(1000);
PORTB.1=0; //Magnetic Contastor active '1'

ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x87;
SFIO&=0xEF;
lcd_init(16);
lcd_clear();
lcd_putsf(" 3 PHASE MOTOR ");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" CONTROLLER ");

f_scn_kpd=0;

if(SP_Suhu==0xFF) SP_Suhu=60;

if(Highval==0xFF) Highval=231;

if(Lowval==0xFF) Lowval=198;

```

```
delay_ms(2500);  
lcd_clear();  
lcd_putsf("SP Suhu=");  
display_int(SP_Suhu);  
lcd_gotoxy(0,1);  
lcd_putsf("Hv=");  
display_int(Highval);  
lcd_putsf(" Lv=");  
display_int(Lowval);
```

```
delay_ms(3500);  
lcd_clear();
```

```
while(1)  
{  
    get_sensor();
```

```
    fuzifikasi(Vin_R);  
    output_rtp1=u_TP1;  
    output_rsgt=u_SGT;  
    output_rtp2=u_TP2;
```

```
    fuzifikasi(Vin_S);  
    output_stp1=u_TP1;  
    output_ssgt=u_SGT;  
    output_stp2=u_TP2;
```

```
    fuzifikasi(Vin_T);  
    output_ttp1=u_TP1;  
    output_tsgt=u_SGT;
```

```

output_ttp2=u_TP2;

fuzi_inference();
defuzzyfikasi();
// _____
if(Vin_R<Lowval)
{
    lcd_clear();
    lcd_putsf("TRIP ! R<");
    display_int(Lowval);
    lcd_putsf(" V");

    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("VR=");
    display_int(Vin_R);
    lcd_putsf(" V ");
    PORTB.1=0;
}
else if(Vin_S<Lowval)
{
    lcd_clear();
    lcd_putsf("TRIP ! S<");
    display_int(Lowval);
    lcd_putsf(" V");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("VS=");
    display_int(Vin_S);
    lcd_putsf(" V ");
    PORTB.1=0;
}

```

```

else if(Vin_T<Lowval)
{
    lcd_clear();
    lcd_putsf("TRIP ! T<");
    display_int(Lowval);
    lcd_putsf(" V");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("VT=");
    display_int(Vin_T);
    lcd_putsf(" V ");
    PORTB.1=0;
}
//=====================================================
else if(Vin_R>Highval)
{
    lcd_clear();
    lcd_putsf("TRIP ! R>");
    display_int(Highval);
    lcd_putsf(" V");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("VR=");
    display_int(Vin_R);
    lcd_putsf(" V ");
    PORTB.1=0;
}

else if(Vin_S>Highval)
{
    lcd_clear();
    lcd_putsf("TRIP ! S>");
    display_int(Highval);

```

```

    lcd_putsf(" V");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("VS=");
    display_int(Vin_S);
    lcd_putsf(" V ");
    PORTB.1=0;
}

    display_int(Vin_T);
    lcd_putsf(" ");
    PORTB.1=1;
}
else if (count_disp<20)
{
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_putsf("Defuzy = ");
    display_float(defuzy); lcd_putsf(" ");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("      ");
    PORTB.1=1;
}
else if (count_disp>=20)
{
    count_disp=0;
}
}

else if (((defuzy_int<Lowval))||((defuzy_int>Highval))
{
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_putsf("Defuzy = ");
    display_float(defuzy); lcd_putsf(" ");
    lcd_gotoxy(0,1);

```



```
        lcd_putsf(" TRIP! ");
        PORTB.1=0;
    }
}
for (i=0;i<200;i++)
    scan_keypad();

} //punya while
}
```


DAFTAR PUSTAKA

- Ayasun, A., Nwankpa, C. O. 2005, "Induction Motor Motor Test Using MATLAB/Simulink and Their Integration Into Undergraduate Electric Machinery Courses", IEEE Trans. on Education, Vol. 48, No. 1, pp. 37-46, February 2005.
- Astrom, K.J., "Directions in Intelligent Control," IFAC International Symposium ITAC 91, Singapore, 15-17 Januari 1991.
- Atmel, - ,Data Sheet AT89C51, Atmel Inc., USA, (<http://www.atmel.com>). diakses 2 Maret 2006.
- Cormens, Thomas H. Leiserson, dkk., 1994, Algorithms, England MIT Press.
- Faiz, J., Ebrahimi, B. M. 2006, "Mixed Fault Diagnosis In Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motor Using Analysis of Air-Gap Magnetic Field", Progerss In Electromagnetics Research, PIER 64, 239-255, 2006.
- Faiz, J., Ebrahimpour, H., and Pillay, P.2004, "Influence of Unbalance Voltage on The Steady State Performance of a Three-Phase Squirrel Cage Induction Motor", IEEE Trans. Energy Conversion **19(4)**, 657-662.
- Gosbell, V. J., Perera, S., and Smith, V.2002, "Voltage Unbalance", Integral Energy Power Quality Centre, Technical Note No. 6, University of Wollongong, NSW Australia 2522.
- Haykin, Simon, 1999, Neural Networks, Prentice Hall.Inc., New York

- Ibiary, Y. 2003, "An Accurate Low-cost Method for Determining Electric Motors Efficiency for the Purpose of Plant Energy Managerment", IEEE Trans. Industry Applications **39(4)**, 1205-1210.
- Kasim, M., Fitriana, Irasari, P.2009, "Rancang Bangun Dan Uji Protipe Generator Magnet Permanen 1kW/48V Mengacu Pada Standar IEC 60034-4", Dipresentasikan Pada Acara Tahunan Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi, Tgl. 23 – 24 Juni 2009, Gedung Widya Graha Kawasan PUSPIPTEK Serpong - Tangerang, Banten.
- Kim, J. G., Lee, E. W., Lee, D. J., and Lee, J. H.(2005), "Comparison of Voltage Unbalance Factor by Line and Phase Voltage", Proc. 8th Int. Conf. Electrical Machines and Systems 3, 1998-2001.
- Kothari, D. P., and Nagrath, I. J.2004, *Electric Machines*, 3rd Edition, Tata McGraw Hill, New Delhi, India.
- K.V. Vamsi Krishna "Effects of unbalance voltage on induction motor current and its operation performance" LECON SYSTEMS, G34, Kushal Garden Arcade, 1A, II Phase, Peenya Industrial Area, Bangalore-58.
- Lazzarini, M. V., and Filho, E. R.2007, "Sensorless Three-phase Induction Motor Direct Torque Control Using Sliding Mode Control Strategy Laboratory Set-up for Motor Speed Control Teaching", International Conference on Engineering Education (ICEE) September 3-7, 2007, Coinbra, Portugal.
- Lee, C. Y.1999, "Effect of Unbalance Voltage On The Operation Performance of A Three-phase Induction Motor", IEEE Trans. Energy Conversion **14(2)**, 202-208.

- Lingga Wardhana. 2008. *Mikrokontroler AVR Seri AT Mega 8535*. Yogyakarta : Andi.
- Mamat, .M. M., Rizon, M., and Khanniche, M. S.2006, “Fault Detection of 3-Phase VSI Using Wavelet_Fuzzy Algorithm”, *American Journal of Applied Sciences* **3(1)**:1642-1648, 2006.
- NEMA Standards, *Motors and Generators*, Publication no. MG1-1993, 1993.
- Pillay, P., Hofmann, P., and Manyage M.2002, “Derating Of Induction Motors Operating With A Combination of Unbalanced Voltages And Over or Under Voltages”, *IEEE Trans. Energy Conversion* **17(4)**, 485-491.
- Putra, E.A., 2002, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/56 Teori dan Aplikasi*, Gava Media, Jogjakarta.
- Rijanto, E. and Santoso, A.2009, “Design of Mechanical Electrical Control System for 100 KW Wind Electrical Power Generator Plant Using 3-phase Squirrel Cage Induction Generator”, Akan Terbit pada *Instrumentasi*, Vol. 33 No.2, Juli-Desember 2009.
- Sardjono, H.2008, “Penetapan Konverter Tegangan Listrik Termis Untuk Standar VAC Nasional Berdasarkan Stabilitas Frekuensi Sebesar 15 PPM”, *Instrumentasi*, Vol. 32 No.2, Juli-Desember 2008, Halaman 49-55.
- Soe, N. N., Yee, T. T. H., and Aung, S. S.2008, “Dynamic Modeling and Simulation of Three-phase Small Induction Motor”, *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology (PWASET)*, Volume 32, August 2008, ISSN 2070-3740.

Suorsa, I.2005, “*Performance And Modelling Of Magnetic Shape Memory Actuators And Sensors*”, Dissertation for the Degree Of Doctor of Science in Technology, Laboratory of Electro mechanics, Department of Electrical and Communication Engineering, Helsinki University Of Technology, Helsinki, Finland, 2005.

Setiawan, Sandi , 1993, *Artificial intelligence* Yogyakarta, Penerbit Andi Offset, Jogjakarta

Sombolayuk, Yustinus Upa. 1995. *Identifikasi Gangguan pada Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Himpunan Samar*. Thesis Teknik Elektro FT. ITB. Bandung.

Tjandi, Yunus., Harun, N.2008, “*Relay Cerdas Berbasis Logika Samar Untuk Proteksi Gangguan Motor Induksi*”, Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI KIM), Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Halaman 434-445, Jakarta 2008.

Wang, Y. J.2001, “*Analysis of Effects of Three-phase Voltage Unbalance On Induction Motor With Emphasis on the Angle of The Complex Voltage Unbalance Factor*”, IEEE Trans. Energy Conversion **16(3)**, 270-275.

Wang, L., X., 1994. *Adaptive Fuzzy Systems and Control ; Design and Stability Analysis*, Prentice-Hall International, Inc.,.

Wang, L., X., and J.M, Mendel, “*Fuzzy Basis Function, Universal Approximation, and Orthogonal Least-Squares Learning.*’ IEEE Transactions on Neural Network, Vol.3, No. 5, 1992.

Wang, L., X., 1998. “*Universal Approximation by Hirarchical Fuzzy Systems*,” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 93, pp.223-230,

Weddy, B.M.,1978, *Sistem Tenaga Listrik*, Aksara Persada Indonesia, Jakarta

Zadeh, L.,A., 1965 .“Fuzzy Sets,” *Information Control*, Vol.8, Academic Press.

RIWAYAT HIDUP



Prof. Dr. Ir. Yunus Tjandi, M.T. Penulis dilahirkan pada tanggal 21 Juli 1958 di Kota Makassar. Tamat di SD Ujung Pandang, Makassar tahun 1971. Pendidikan SMP dan SMA diselesaikan di Kota Makassar pada tahun 1974 dan 1977. Tahun 1984, penulis menyelesaikan Program Sarjana Teknik Elektro di Universitas Hasanuddin. Gelar Magister dan Doktor Teknik Elektro di raih di Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2000 dan 2009. Tahun 1986, penulis terangkat sebagai tenaga akademik di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro IKIP Ujung Pandang. Dalam pengembangan karirnya, penulis telah menulis buku *Teknik Perencanaan Instalasi Listrik, Proteksi Sistem Tenaga Listrik I dan II dan Panduan Praktek Instalasi Listrik*.

Sejumlah hasil penelitian juga telah dilakukan antara lain: (1) Analisis Teknis dan Ekonomis Pusat Listrik Tenaga Gas di Pulau Balang Lompo, (2) Pemanfaatn MC dan WLC pada Mesin Pompa Air Sistem Reservoir, (3) Pemanfaatan Kapasitor Bank pada Industri PT. Patun Makateks Makassar, (4) Kelaikan Instalasi Listrik Asrama/Pondokan Mahasiswa di Kota Makassar, (5) Relay Cerdas Berbasis Logika Samar untuk Proteksi Gangguan Motor Induksi, (6) Rancangan Pengamanan Sistem Motor Induksi Berbasis Logika Samar Menggunakan AVR Mikrokontroler, (7) Monitoring dan Kendali Perangkat Peralattan Listrik Berbasisi Arduino Mega Menggunakan Smartphone.



Drs. Syarifuddin Kasim, M.T. penulis dilahirkan di Pare-Pare 2 April 1957. Penulis menyelesaikan program Sarjana di IKIP Ujung Pandang pada Program Pendidikan Teknik Elektro tahun 1979 hingga 1984. Selanjutnya, penulis melanjutkan ke Program Magister Teknik Elektro di Universitas Hasanuddin tahun 1999 hingga 2003. Saat ini beliau merupakan dosen di Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar Program Pendidikan Teknik Elektro dengan jabatan fungsional sebagai lektu kepala. Selama masa karirnya, penulis telah melakukan beberapa penelitian, yaitu: (1) *Kelaikan Instalasi Listrik Asrama Mahasiswa Kota Makassar pada tahun 2006* dan (2) *Diagnosa Kerusakan/Gangguan Motor Induksi Berbasis Logika Samar pada tahun 2012 dan 2013*.



Dr. A. Muhamamd Idkhan, S.T., M.T. Lahir pada Tanggal 07 Oktober 1966 di Sinjai. Beliau Tamat SD Pembangunan Sudirman Tahun 1980 di Makassar. Pendidikan SMPN 10 dan SMAN 8 di Kota Makassar pada tahun 1983 dan 1986, kemudian menyelesaikan Program Sarjana Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin tahun 1993. Gelar Magister Teknik diraih pada tahun 2004 di Program Pascasarjana Univ Hasanuddin. Gelar Doktor dalam bidang Ilmu Pendidikan pada Program Pascasarjana Univ Negeri Makassar tahun 2015. Sampai sekarang, beliau merupakan Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Univ Negeri makassar. Dalam pengembangan karir penulis telah menulis buku Perencanaan Alat dan Penepat, Modul Pembelajaran Kewirausahaan. Sejumlah Hasil Penelitian juga telah dilakukan: 1) Hubungan Prestasi Praktek Kerja Industri terhadap Minat berwirausaha mahasiswa jurusan Teknik Mesin. 2) Analisis nilai kalort dan tekno ekonomi biogas dari

Biodigester Skala Rumah tangga, 3) Desain dan Pembuatan mesin pengering lada dengan menggunakan pemanas uap. 4) Pengembangan Model Pembelajaran kewirausahaan pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. 6) Desain dan pembuatan Mesin Pengering metode Vakum dengan suhu dan tekanan terkendali.